



Interfaz de usuario para la gestión de energía eléctrica en un ambiente residencial.

Trabajo de Grado

Pablo Julián Salamanca Bernal

Estudiante de Ingeniería Electrónica

Universidad del Valle

2015

pablo.salamanca@correounivalle.edu.co

**INTERFAZ DE USUARIO PARA LA GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN UN AMBIENTE RESIDENCIAL**

PABLO JULIÁN SALAMANCA BERNAL



**FACULTADA DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CALI – COLOMBIA
2015**

**INTERFAZ DE USUARIO PARA LA GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN UN AMBIENTE RESIDENCIAL.**

PABLO JULIÁN SALAMANCA BERNAL

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

DIRECTOR: Ing. EDUARDO CAICEDO BRAVO Ph.D

DIRECTOR: Ing. BREYNER POSSO BAUTISTA M.Sc



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CALI – COLOMBIA
2015**

Nota de Aceptación

Ing. Eduardo Caicedo Bravo. Ph.D.
Director

Ing. Breyner Posso Bautista. M.Sc.
Director

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, __ de ____ de ____ (Entregado el __ de ____ de ____)

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por bendecirme enormemente y por permitirme ser parte de una de las mejores universidades del país. Quiero dar a su vez un enorme agradecimiento a mi familia, los cuales son el motor de mi vida, especialmente mis padres Cesar Augusto y Alfa Elena quienes por medio del ejemplo me han enseñado el camino correcto y me han brindado su cariño y apoyo incondicional en todo momento.

Deseo realizar un reconocimiento a todos mis maestros, compañeros y amigos que han hecho parte de mi formación profesional y me han permitido compartir a su lado momentos agradables con invaluable enseñanza, agradezco especialmente a los directores de mi trabajo de grado Eduardo Caicedo y Breyner Posso quienes sabiamente me han guiado en todo este proceso y se han convertido en un ejemplo a seguir para mi vida.

*El conocimiento es una aventura incierta que conlleva en sí mismo a una
búsqueda implacable de la verdad.*

Tabla de Contenido

	<i>Pág.</i>
Lista de Tablas	iX
Lista de Figuras	X
Lista de Notaciones	Xii
1. INTRODUCCIÓN	13
2. FUNDAMENTOS DE LA DOMÓTICA	13
2.1. REDES INTELIGENTES <i>SMARTGRID</i>	13
2.2. INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA	13
2.3. FUENTES DE ENERGIA RENOVABLES	14
2.3.1. Energía eólica	15
2.3.2. Energía solar.....	16
2.4. AUTOMATIZACIÓN EN EL HOGAR	17
2.4.1. Sistemas internacionales	20
2.4.2. Sistemas en Latinoamérica y Colombia.....	22
2.4.3. Estándares y sistemas comerciales.	23
2.5. SISTEMA DE GESTION DE ENERGÍA EN EL HOGAR <i>HEMS</i>	24
2.5.1. Revisión de arquitecturas de HEMS desarrolladas	25
2.6. CONCLUSIONES.....	31
3. HOME CONTROLLER: HERRAMIENTA SOFTWARE DESARROLLADA	32
3.1. SOLUCIÓN PROPUESTA	32
3.1.1. Estructura general del sistema.....	32
3.1.2. Estructura de la solución propuesta.	33
3.2. SISTEMA DE GESTIÓN - HEMS	35
3.2.1. Diagrama general.....	35
3.2.2. Estructura del HEMS.	35
3.2.3. Algoritmos del HEMS.	37
3.3. INTERFAZ DE USUARIO.....	38
3.3.1. Diagrama general.....	38
3.3.2. Diseño.	39
3.3.2.1. Diagrama conceptual.	39
3.3.2.2. Diagrama de casos de uso.....	40
3.3.2.3. Diagramas de secuencia.	41
3.3.2.4. Diagrama de clases.	42

3.3.3.	Modos de Funcionamiento	43
3.3.4.	Ejecución de tareas.	44
3.3.5.	Interfaz visual y grafica.	45
3.3.5.1.	Página de Ingreso.....	45
3.3.5.2.	Menú principal.....	46
3.3.5.3.	Módulo de iluminación.	47
3.3.5.4.	Módulos de entretenimiento y electrodomésticos.	48
3.3.5.5.	Módulos de HVAC, elementos de cocina y seguridad.....	49
3.3.5.6.	Módulo de fuentes de energía renovable.....	50
3.3.5.7.	Módulo de información.	51
3.3.5.8.	Sección de simulación.....	52
3.3.6.	Estrategias de gestión en la interfaz de usuario.	54
3.3.6.1.	Control de Objetivo y Sugerencias.....	54
3.3.6.2.	Control de Prioridades.	56
3.4.	BASE DE DATOS.....	56
3.5.	HARDWARE UTILIZADO.....	60
3.6.	CONCLUSIONES.....	60
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	61
4.1.	ESCENARIO RESIDENCIAL PROPUESTO	61
4.1.1.	Simulación del escenario residencial.	62
4.1.1.1.	Caracterización del espacio físico.	62
4.1.1.2.	Caracterización de las cargas.	64
4.1.1.3.	Simulación de presencia.	65
4.1.1.4.	Diseño de los perfiles de consumo.	67
4.1.1.5.	Software para simulación de las cargas y los perfiles de consumo.....	68
4.1.2.	Simulación de las fuentes de energía renovables.....	69
4.1.2.1.	Simulación Aerogenerador.	70
4.1.2.2.	Simulación Panel Solar.....	72
4.1.3.	Simulación de tarifa variable.....	74
4.2.	PRUEBAS DESARROLLADAS.....	78
4.2.1.	Protocolos de funcionamiento.....	78
4.2.1.1.	Funcionamiento de la interfaz de usuario.	78
4.2.1.2.	Funcionamiento de la simulación del sistema.	79
4.2.1.3.	Pruebas del sistema de gestión.	79
4.2.1.4.	Pruebas para la obtención de resultados.	79
4.2.2.	Criterios de evaluación.	80
4.3.	RESULTADOS.....	82
4.3.1.	Prueba 1: Consumo básico y Tarifa Variable.....	82
4.3.2.	Prueba 2: Implementación de fuentes de energía renovables.	83
4.3.3.	Prueba 3: Sistema de gestión por prioridades.....	85
4.3.4.	Prueba 4: Sistema de gestión por Objetivo.....	86
4.3.5.	Prueba 5: Sistema de de gestión completo.	88
4.4.	ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS.....	90
4.5.	CONCLUSIONES.....	92
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	93

5.1.	CONCLUSIONES.....	93
5.2.	TRABAJO FUTURO.	95
6.	BIBLIOGRAFIA.....	96
7.	ANEXOS.....	100
7.1.	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA.	100
7.2.	CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR BORNAY 600.....	101
7.3.	ALGORITMO DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DE PERFILES DE USUARIO.	103
7.4.	CÁLCULO DE TARIFA VARIABLE.	105

Lista de Notaciones

AMI	Advanced Metering Infrastructure.
BMS	Battery Management system.
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.
DER	Distributed energy resources.
EAC	Electric Applications Control.
EIC	Economic Information Center.
EID	Economic Information Database.
EMS	Energy Management Service.
ESI	Energy service interface.
ESP	Energy Service Portal.
ESS	Energy storage system.
HEMS	Home Energy Management System.
HID	Human interface device.
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning.
MEC	Master Energy Controller.
MIC	Meteorological Information Center.
MMI	Man-Machine Interface device.
MSD	Management System Database.
PCD	Process Control Database.
RTU	Remote Terminal Unit.
TAC	Thermal Applications Control.
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética.

Lista de Tablas

Pág.

TABLA 2-1: CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS.....	19
TABLA 2-2: TIPOS DE ELECTRODOMÉSTICOS.....	20
TABLA 2-3: EMPRESAS DESARROLLADORAS DE SISTEMAS DE GESTIÓN [KLING 2013].....	20
TABLA 2-4: ESTÁNDARES Y SISTEMAS COMERCIALES DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN.....	23
TABLA 3-1: TAREAS PARA DESARROLLAR LA COMUNICACIÓN DEL HEMS.....	44
TABLA 3-2: ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS.....	58
TABLA 4-1: ELEMENTOS Y MÓDULOS DEL SISTEMA.....	64
TABLA 4-2: CONSUMO DE LOS ELEMENTOS DEL APARTAMENTO MODELO.....	65
TABLA 4-3: ACTIVIDADES PROPUESTAS AL INTERIOR DEL AMBIENTE RESIDENCIAL.....	66
TABLA 4-4: MUESTRA DE PERFILES DE USUARIO, MÓDULO DE ENTRETENIMIENTO.....	67
TABLA 4-5: VELOCIDADES DEL VIENTO RIOHACHA COLOMBIA.....	70
TABLA 4-6: PRODUCCIÓN EÓLICA SIMULADA PARA EL PRIMERO DE JUNIO DEL 2014.....	72
TABLA 4-7: RESUMEN DE INFORMACIÓN PARA LA GENERACIÓN SOLAR.....	73
TABLA 4-8: CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE PERFILES DE GENERACIÓN SOLAR.....	73
TABLA 4-9: FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ DE USUARIO.....	78
TABLA 4-10: PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ GRAFICA Y LA SECCIÓN DE SIMULACIÓN.....	79
TABLA 4-11: PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN.....	79
TABLA 4-12: PROTOCOLO PARA RESULTADOS GENERALES.....	80
TABLA 4-13: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 JUNIO DEL 2014 APLICANDO TARIFAS HORARIAS Y FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.....	80
TABLA 4-14: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 APLICANDO SISTEMA DE GESTION POR OBJETIVOS Y PRIORIDADES.....	81
TABLA 4-15: RESULTADOS DE CONSUMO BÁSICO Y TARIFA VARIABLE.....	83
TABLA 4-16: RESULTADOS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.....	84
TABLA 4-17: RESULTADOS SISTEMA DE GESTIÓN POR PRIORIDADES.....	86
TABLA 4-18: RESULTADOS SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO.....	88
TABLA 4-19: RESUMEN DE RESULTADOS PERFIL 1 PARA JUNIO DE 2014 CONSIDERANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN.....	90
TABLA 4-20: RESUMEN DE RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 JUNIO DE 2014 CONSIDERANDO EL CONSUMO GENERAL COMPARADO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.....	91
TABLA 4-21: PROMEDIOS DE PRECIOS PARA EL MES DE JUNIO DEL 2014 PARA EL PERFIL DE TARIFA GENERAL.....	91
TABLA 4-22: RESUMEN DE RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 JUNIO DE 2014 CONSIDERANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVOS Y PRIORIDADES.....	91
TABLA 4-23: RESUMEN DE RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 JUNIO DE 2014 CONSIDERANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN COMPLETO.....	92
TABLA 7-1: CATEGORÍAS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	102
TABLA 7-2: ADAPTACIÓN DEL PRECIO PARA EL ESCENARIO COLOMBIANO.....	105

Lista de Figuras

Pág.

ILUSTRACIÓN 2-1: SMARTGRIDS	13
ILUSTRACIÓN 2-2: FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.	14
ILUSTRACIÓN 2-3: INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES.	16
ILUSTRACIÓN 2-4: TENDENCIAS SOBRE AUTOMATIZACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL.	18
ILUSTRACIÓN 2-5: TIPOS DE DOCUMENTOS RELACIONADOS CON LA AUTOMATIZACIÓN EN EL HOGAR.	18
ILUSTRACIÓN 2-6: ESTRUCTURA HEMS[HEMS ALLIANCE JAPÓN].	24
ILUSTRACIÓN 2-7: ARQUITECTURA HEMS [KLING 2013]	25
ILUSTRACIÓN 2-8: SERVICIOS DE UN HEMS.	25
ILUSTRACIÓN 2-9: CONEXIÓN DE LAS DER CONECTADAS A LA AMI Y ESTAS A SU VEZ A LAS ESS [LEE 2011].	27
ILUSTRACIÓN 2-10: INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO [LEE 2011].	27
ILUSTRACIÓN 2-11: FLUJO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN [OZTURK 2013].....	28
ILUSTRACIÓN 2-12: ARQUITECTURA PROPUESTA DE UN HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM [VALEVA 2012].	29
ILUSTRACIÓN 2-13: ESTRUCTURA DEL SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN [SON 2010].	30
ILUSTRACIÓN 3-1: ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA.	33
ILUSTRACIÓN 3-2: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	33
ILUSTRACIÓN 3-3: ARQUITECTURA SOFTWARE PROPUESTA.....	34
ILUSTRACIÓN 3-4: DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN.	35
ILUSTRACIÓN 3-5: ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE GESTIÓN.....	36
ILUSTRACIÓN 3-6: ALGORITMOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN.	37
ILUSTRACIÓN 3-7: ESTRUCTURA DE LA INTERFAZ DE USUARIO.	38
ILUSTRACIÓN 3-8: BOCETOS INICIALES.....	39
ILUSTRACIÓN 3-9: DIAGRAMA CONCEPTUAL.....	40
ILUSTRACIÓN 3-10: DIAGRAMA DE CASOS DE USO.	40
ILUSTRACIÓN 3-11: DIAGRAMAS DE SECUENCIA.	42
ILUSTRACIÓN 3-12: DIAGRAMA DE CLASES DE LA INTERFAZ GRAFICA.	42
ILUSTRACIÓN 3-13: FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ DE USUARIO Y EL SISTEMA DE GESTIÓN.....	43
ILUSTRACIÓN 3-14: TAREAS DEL SISTEMA.	44
ILUSTRACIÓN 3-15: PÁGINA DE INGRESO.	46
ILUSTRACIÓN 3-16: PÁGINA QUE VERIFICA LOS PERMISOS DE USUARIO.	46
ILUSTRACIÓN 3-17: MENÚ PRINCIPAL.	47
ILUSTRACIÓN 3-18: MÓDULO DE ILUMINACIÓN.	48
ILUSTRACIÓN 3-19: MÓDULOS DE ENTRETENIMIENTO Y DE ELECTRODOMÉSTICOS.	49
ILUSTRACIÓN 3-20: MÓDULO DE HVAC.	49
ILUSTRACIÓN 3-21: MÓDULOS DE ELEMENTOS DE COCINA Y SEGURIDAD.....	50
ILUSTRACIÓN 3-22: MÓDULO DE FUENTES DE ENERGÍA.	50
ILUSTRACIÓN 3-23: CONFIGURACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.	51

ILUSTRACIÓN 3-24: MÓDULO DE INFORMACIÓN.....	52
ILUSTRACIÓN 3-25: SIMULACIÓN DE PERFILES DE USUARIO.....	52
ILUSTRACIÓN 3-26: CONDICIÓN DE FUNCIONAMIENTO PARA LA SIMULACIÓN DE PERFILES DE USUARIO.	53
ILUSTRACIÓN 3-27: MENSAJE DE INTERACCIÓN CON EL USUARIO.....	53
ILUSTRACIÓN 3-28: MÓDULO DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN.....	54
ILUSTRACIÓN 3-29: CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO.	55
ILUSTRACIÓN 3-30: OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO.....	55
ILUSTRACIÓN 3-31: INGRESO DEL OBJETIVO PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN.....	55
ILUSTRACIÓN 3-32: EJEMPLO DE LA PROGRAMACIÓN GENERADA POR CONTROL DE PRECIO.....	56
ILUSTRACIÓN 3-33: PRECIOS DE LA TARIFA VARIABLE PARA EL EJEMPLO INDICADO EN EL CONTROL DE PRECIOS.	56
ILUSTRACIÓN 3-34: BASE DE DATOS EN PHPMYADMIN Y PANEL DE CONTROL XAMPP.....	57
ILUSTRACIÓN 3-35: MODELO RELACIONAL DE LA BASE DE DATOS.....	59
ILUSTRACIÓN 3-36: RELACIÓN EN TABLAS DE REPORTE.	59
ILUSTRACIÓN 4-1: DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS EN EL ESCENARIO RESIDENCIAL SELECCIONADO.	62
ILUSTRACIÓN 4-2: DISTRIBUCIÓN DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS EN EL ESCENARIO RESIDENCIAL SELECCIONADO.	63
ILUSTRACIÓN 4-3: CONFIGURACIÓN DEL SIMULADOR DE PERFILES DE USUARIO.....	68
ILUSTRACIÓN 4-4: PÁGINA DE PERFILES.	69
ILUSTRACIÓN 4-5: GESTOR DE PERFILES.....	69
ILUSTRACIÓN 4-6: PERFILES DEL VIENTO PARA LA GENERACIÓN EÓLICA.	70
ILUSTRACIÓN 4-7: AEROGENERADOR BORNAY 600 Y PRODUCCIÓN MENSUAL DE ENERGÍA.	71
ILUSTRACIÓN 4-8: INTERPOLACIÓN DE LA GRAFICA DE PRODUCCIÓN DEL AEROGENERADOR BORNAY 600.	71
ILUSTRACIÓN 4-9: PERFILES DE GENERACIÓN SOLAR DETERMINADOS.....	74
ILUSTRACIÓN 4-10: TARIFAS ESPAÑOLAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	75
ILUSTRACIÓN 4-11: NORMALIZACIÓN DE PRECIOS.	76
ILUSTRACIÓN 4-12: PRECIO PROMEDIO BOLSA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA JUNIO 2014.	77
ILUSTRACIÓN 4-13: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y PRECIO APLICANDO TARIFA BÁSICA, GENERAL Y NOCTURNA.	82
ILUSTRACIÓN 4-14: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y GENERACIÓN CUANDO SE UTILIZAN LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.	83
ILUSTRACIÓN 4-15: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y PRECIO APLICANDO TARIFA BÁSICA, GENERAL Y NOCTURNA, INCLUYENDO LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.	84
ILUSTRACIÓN 4-16: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE TARIFA VARIABLE (GENERAL).....	85
ILUSTRACIÓN 4-17: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE PROGRAMACIÓN POR EL SISTEMA DE GESTIÓN POR PRIORIDADES VERIFICANDO CON LA BASE DE DATOS.	85
ILUSTRACIÓN 4-18: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y PRECIO APLICANDO TARIFA GENERAL Y NOCTURNA IMPLEMENTANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN POR PRIORIDADES.	86
ILUSTRACIÓN 4-19: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y PRECIO APLICANDO TARIFA BÁSICA, GENERAL Y NOCTURNA IMPLEMENTANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO.....	87
ILUSTRACIÓN 4-20: RESULTADOS PERFIL 1 PARA EL 01 DE JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y PRECIO APLICANDO TARIFA GENERAL IMPLEMENTANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO Y PRIORIDADES.....	88
ILUSTRACIÓN 4-21: RESULTADOS PERFIL 1 PARA JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y COSTO TOTAL APLICANDO TARIFA GENERAL Y NOCTURNA SIN SISTEMA DE GESTIÓN.	89

ILUSTRACIÓN 4-22: RESULTADOS PERFIL 1 PARA JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO Y COSTO TOTAL APLICANDO TARIFA GENERAL IMPLEMENTANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO Y PRIORIDADES.....	89
ILUSTRACIÓN 4-23: RESULTADOS PERFIL 1 PARA JUNIO DEL 2014 CON INFORMACIÓN DE CONSUMO, GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO Y COSTO TOTAL APLICANDO TARIFA GENERAL E IMPLEMENTANDO EL SISTEMA DE GESTIÓN POR OBJETIVO Y PRIORIDADES.....	89
ILUSTRACIÓN 7-1: CARACTERÍSTICAS Y ETAPAS DE GENERACIÓN DE UN AEROGENERADOR.	101
ILUSTRACIÓN 7-2: CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR.	102
ILUSTRACIÓN 7-3: DEFINICIÓN DE VARIABLES Y COMUNICACIÓN CON LA BASE DE DATOS.	103
ILUSTRACIÓN 7-4: ALGORITMO PARA CARGAR LOS PERFILES DE CONSUMO EN LA BASE DE DATOS.	104

1. Capítulo

INTRODUCCIÓN

El presente documento expone el desarrollo y los resultados del trabajo de grado “Interfaz de usuario para la gestión de energía eléctrica en un ambiente residencial”, requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico en la Universidad del Valle en Cali Colombia. Desarrollar investigaciones sobre los sistemas de gestión de energía eléctrica en Colombia es indispensable debido al desconocimiento que tiene la sociedad acerca de los procesos que permiten la prestación de este servicio. La mayoría de las personas utilizan este recurso continuamente sin apreciar lo importante que es para sus vidas, los seres humanos desde la infancia se acostumbran a integrar el fluido eléctrico a los sucesos diarios, hasta el punto que hoy en día es indispensable para la sociedad y se han convertido en parte fundamental del desarrollo económico y social.

El aumento de la población y el crecimiento de la nación está muy ligado al consumo energético por ello las entidades de regulación deben realizar predicciones sobre la demanda que se va a presentar diariamente, con el ánimo de diseñar estrategias que le permitan a las empresas generadoras y distribuidoras entregar de forma eficiente el servicio con la infraestructura y los recursos disponibles. Como un ejemplo de ello es la proyección que realiza la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) quien asegura que la demanda en Colombia aumentará un 3.9% anual en el periodo 2012-2020 [M. Energ. 2013]. Una de las múltiples estrategias planteadas para controlar este fenómeno es la inclusión de dispositivos de generación eléctrica en los hogares para permitir que el usuario sea parte activa del proceso y producir de esta forma cambios en los hábitos de consumo. Múltiples estudios han demostrado que las personas gastan más energía de la que realmente necesitan, esto genera un desequilibrio entre la producción de energía y el crecimiento del consumo de los habitantes. [Li 2011].

Estos procesos tecnológicos que incorporan nuevos dispositivos en el hogar deben contar con una herramienta de gestión, control y visualización del estado del sistema preferiblemente en tiempo real; a su vez deben poseer herramientas que le faciliten a los usuarios la introducción de preferencias y requerimientos de funcionamiento, para facilitar la automatización de los procesos en el hogar, y así disminuir el consumo generado en las viviendas. Es por esto que el presente trabajo de grado ha sido orientado hacia la construcción de estas tecnologías enmarcado en el objetivo general de “**Diseñar e implementar una interfaz de usuario para gestionar la energía eléctrica en un ambiente emulado por software de una vivienda residencial.**”. Es importante que en Colombia se prepare la sociedad para la llegada de estas tecnologías que poco a poco están siendo implementadas y que marcan una tendencia en el mundo como una solución eficiente a los problemas medioambientales y de consumo energético.

Los objetivos específicos desarrollados en el proyecto son:

- Obtener un estado del arte sobre las técnicas de automatización en el hogar y los sistemas de gestión de energía.
- Adoptar e implementar una estrategia de gestión de energía eléctrica en un ambiente residencial.
- Realizar una interfaz por software que permita el monitoreo y control de la ejecución del sistema ingresando las preferencias del usuario.
- Validar la estrategia de gestión implementada mediante la emulación de una vivienda residencial.

Estructuralmente el documento inicia presentando una corta introducción de la temática que ha sido objeto de estudio, continua exponiendo los argumentos y las motivaciones que incentivaron al autor para realizar una investigación alrededor de las redes inteligentes y los sistemas de gestión. En el segundo capítulo se expone un marco teórico con las características de mayor relevancia en la bibliografía consultada alrededor de las redes inteligentes, la automatización de viviendas, las fuentes de energía renovables y los sistemas de gestión al interior del hogar, esta información es presentada para facilitar la comprensión de la propuesta desarrollada en las siguientes secciones.

En el tercer capítulo es el núcleo central del documento en el cual se presenta la propuesta a nivel software del sistema de gestión, se detalla la solución propuesta del sistema de gestión, el mecanismo de simulación y la metodología para el desarrollo del proyecto, se indican a su vez las arquitecturas de las estrategias de control y los algoritmos que se ejecutan en la interfaz de usuario para realizar la gestión del sistema. Se expone a su vez la estructura del modelo de información y de la base de datos. En esta sección se presentan las características de la interfaz de usuario, los diagramas conceptuales, de casos de uso y de clases para comprender la interacción entre el usuario y el sistema. Finalmente se exponen las estrategias de control implementadas (objetivo-prioridades) y las características de funcionamiento para cada una.

A continuación en el capítulo cuatro se desarrolla el escenario de pruebas y resultados que incluye los procedimientos para la simulación del escenario residencial, caracterizando el espacio geográfico, las cargas y los hábitos de consumo que permiten simular los perfiles de usuario mediante una aplicación software adicional, se desarrollan a su vez los perfiles de generación de energía y la simulación de la tarifa variable que sirven de insumo para implementar los protocolos de pruebas.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones generales y algunas propuestas de trabajos futuros que permitan la continuación de la investigación en esta temática y favorezca el desarrollo de estas tecnologías. Finalmente en los anexos se ofrece al lector información complementaria que amplía la comprensión de algunas temáticas desarrolladas a lo largo del documento.

El servicio de energía eléctrica es parte esencial para la vida y el desarrollo de la sociedad moderna, en particular la Colombiana, es indispensable avanzar en el estudio de herramientas que permitan la planificación y control de los dispositivos en el hogar como también de elementos que proporcionen información a los usuarios de la cantidad de energía consumida y generada en instantes específicos de tiempo, el manejo efectivo de la energía en los hogares es la clave fundamental para el desarrollo en el futuro de las redes inteligentes [Li 2011]. Es importante también estar preparados y contar con el conocimiento y la experiencia en la gestión de tarifas con discriminación horaria y su posible implementación en la región, liderando una nueva línea de investigación en las SmartGrid y capacitando al estudiante en un ámbito profesional para avanzar en la integración de servicios alrededor del hogar y la eficiencia energética.

En los últimos años se ha evidenciado la necesidad de integrar en una sola herramienta el monitoreo y control de dispositivos de energía eléctrica, brindando al usuario información que oriente acciones sobre el sistema para vincularlo de manera activa en el proceso de gestión de energía. Es importante que el desarrollo de estas herramientas pueda integrar dispositivos de generación de energía, informando al propietario de los equipos el estado actual del sistema para facilitar la toma de decisiones y vincular adecuadamente esa energía a la red domiciliaria reduciendo la solicitud de electricidad a la empresa prestadora del servicio. Por otra parte es indispensable que el usuario tenga a su disposición elementos que le permitan una interacción con el sistema, por ejemplo una interfaz con herramientas gráficas que de forma práctica y sencilla indiquen el estado actual de los elementos y permita introducir las preferencias o acciones que el usuario desea adelantar en las próximas horas.

El desarrollo del trabajo de grado “Interfaz de usuario para la gestión de energía eléctrica en un ambiente residencial” permitió al autor aplicar el conocimiento adquirido en el transcurso de su formación como ingeniero electrónico en la Universidad del Valle, como también la adquisición de nuevas habilidades en el diseño e implementación de módulos software, interfaces de usuario y visualización de información. Es importante resaltar que este trabajo representa un área de innovación en el grupo de investigación PSI (Percepción y Sistemas Inteligentes) y en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, fortaleciendo una naciente línea de investigación relacionada con las smartgrid y los sistemas de gestión en el hogar.

2. Capítulo

FUNDAMENTOS DE LA DOMÓTICA

En la actualidad gran cantidad de proyectos alrededor del mundo tienen por eje principal el desarrollo de las redes inteligentes (Smart Grids) y la forma adecuada de involucrar al usuario en el proceso de la gestión de energía. En el presente capítulo se expondrá la revisión bibliográfica de mayor relevancia en los últimos años relacionada con la implementación de los sistemas de gestión de energía en edificios y la automatización de los ambientes residenciales tanto a nivel nacional como internacional. Es importante resaltar las principales características de los sistemas de gestión desarrollados en otros países y realizar una comparación entre los tipos de implementación para orientar adecuadamente el sistema propuesto en los posteriores capítulos.

2.1. REDES INTELIGENTES *SMARTGRID*

Las Smart Grids o redes inteligentes es un concepto que se ha trabajado desde hace unos años que permite la evolución de la red de energía eléctrica para contribuir en el aumento de la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad del sistema en todas las etapas. Se presenta como parte de una solución a los desafíos que tiene la humanidad frente a los cambios medioambientales y la disminución de los recursos naturales, incluye en su esquema la utilización de fuentes de energía renovables y el desarrollo de una red de comunicación bidireccional entre los usuarios y las empresas distribuidoras para facilitar el intercambio de información entre los entes del sistema registrando su comportamiento en el tiempo y la interacción desarrollada entre los usuarios y el sistema.

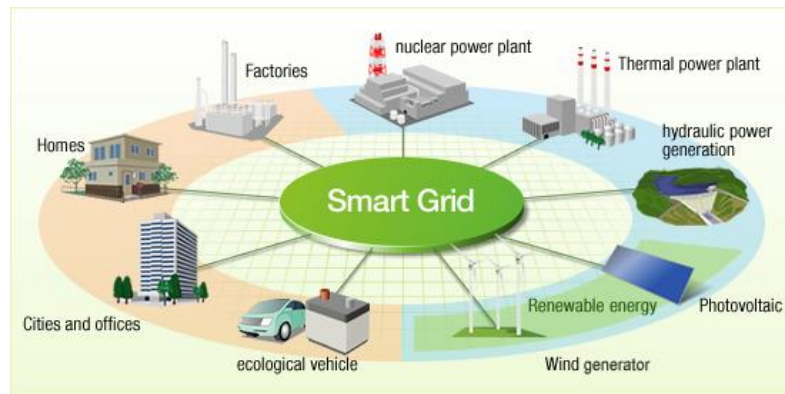


Ilustración 2-1: SmartGrids¹

Un aspecto importante en la concepción de las redes inteligentes son los sistemas de comunicación y la estrecha relación que se presenta entre la generación y la demanda de energía, las smartgrids deben pronosticar los cambios en el comportamiento del sistema para aumentar la eficiencia y la calidad del servicio. Otros aspectos importantes que trae la implementación de las redes inteligentes son:

- La automatización y robustecimiento de la red. Mejorando la operación, los índices de calidad y disminuyendo las pérdidas del sistema.
- Permitir la conexión de las zonas con fuentes de generación renovable.
- Desarrollar arquitecturas de generación distribuida.
- Avanzar en el desarrollo del mercado energético.
- Facilita la gestión de la demanda activa.

La implementación de estas tecnologías en los próximos años traerá grandes beneficios tanto para los usuarios como para la red de potencia. Es importante seguir trabajando en los desafíos que se presentan, especialmente los relacionados con los Sistemas de Gestión de Energía en ambientes residenciales, objetivo principal del presente trabajo.

2.2. INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA

La implementación de un sistema de gestión de energía requiere unas condiciones específicas que permitan la interacción del sistema y los usuarios, uno de esos componentes es el sistema de medición que permita la recolección de información de los

¹ Imagen tomada de <http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/energy/smartgrid.html>.

dispositivos hacia el nodo central de procesamiento y que facilite el análisis de información sobre el consumo de energía en los hogares. La instalación de medidores inteligentes ha marcado una pauta sobre los sistemas de medición, pero se debe tener presente que al interior del hogar pueden interactuar una gran cantidad de dispositivos que requieren una manejo especial de la información en un intervalo de tiempo.

El sistema de medición en un escenario residencial abarca más aspectos interrelacionados con la gestión de la información de los dispositivos automáticos, las tarifas horarias y el nivel de software que interactúa con el usuario. Los dispositivos deben ser monitoreados constante y eficientemente para determinar su estado y mediante algoritmos establecidos orientar las acciones que deben realizarse. Uno de los aspectos de mayor relevancia en los sistemas de medición es la red de comunicación, el software de gestión y las opciones de almacenamiento de información que posteriormente será procesada y analizada [Selvam 2012].

2.3. FUENTES DE ENERGIA RENOVABLES

En los últimos años la concentración de los gases de efecto invernadero ha sufrido un incremento por los equivocados hábitos de la humanidad y su insaciable carrera por el desarrollo sin apreciar las consecuencias de estos actos. El uso desproporcionado de los recursos naturales y los combustibles fósiles han provocado un deterioro de la biodiversidad y ocasionará cambios drásticos en las condiciones climáticas de la tierra. Aunque los objetivos del presente trabajo no profundizan en esta materia es importante incluir en los proyectos relacionados con sistemas de gestión en el hogar la implementación de fuentes de energía renovables e incentivar a los usuarios el uso de estas tecnologías en los hogares para suplir de forma parcial el consumo de energía.



Ilustración 2-2: Fuentes de Energía Renovables².

² Imagen tomada de: <http://magallanes.minagri.gob.cl/2013/10/10>

Para la futura integración con los sistemas de gestión se debe tener presente el tipo de estrategia implementada en el proceso para la incorporación de la energía en la red. Las tecnologías de mayor acogida para ser utilizadas en los hogares, son la energía eólica, térmica, de biomasa y la producida por paneles solares. En estos escenarios las fuentes de energía renovable se convierten en una gran esperanza para la edificación de una sociedad autosostenible y con la capacidad de planificar su consumo energético brindando garantías para el futuro. En el presente trabajo la gestión de las fuentes de energía renovables, esta centrada en el control y monitoreo sobre la simulación de curvas o perfiles de generación para un aerogenerador y un panel solar (figura 2-2). En la construcción de la información simulada se han utilizado parámetros específicos de los dispositivos para acercarse al comportamiento real y generar confianza en los pronósticos desarrollados reduciendo a su vez el margen de error frente a una posible generación en el escenario planteado.

2.3.1. Energía Eólica

Para la implementación de un aerogenerador en un ambiente residencial se debe realizar inicialmente un estudio del comportamiento del viento en el sector donde se realizará la instalación, es importante identificar y analizar el proceso de transformación de energía cinética del aire en energía eléctrica, aunque los objetivos planteados en el presente trabajo no abarcan una implementación real es importante conocer las características más relevantes de estos dispositivos; por ejemplo los aerogeneradores de uso comercial para zonas residenciales o de pequeñas industrias en su mayoría inician el ciclo de generación cuando el viento supera los 2 m/s. El sistema de control interno de los generadores eólicos posee tres etapas de funcionamiento: la primera de acuerdo al punto nominal de operación para la velocidad de giro del rotor, la segunda relacionada con el torque del dispositivo y la tercera utiliza el punto de potencia nominal (ver Anexo 8.1).

Por su parte el sistema de orientación de los aerogeneradores de baja potencia es una veleta ubicada en la parte posterior la cual mide la velocidad del viento. La mayoría de las veces esta veleta está unida a un sistema de control que evita la sobrecarga del aerogenerador. El controlador dirige un servomotor que permite el desplazamiento del aerogenerador en la dirección del viento obteniendo así una máxima eficiencia. Los aerogeneradores son una gran apuesta tecnológica para el aprovechamiento del viento, en especial porque este tipo de energía renovable funciona las 24 horas presentando una extensión frente a otro tipo de generación distribuida. Las investigaciones proyectan que la mezcla de esta tecnología con los paneles solares es una de las mejores soluciones a los problemas medioambientales que padece nuestro planeta.

2.3.2. Energía Solar.

En la actualidad son incontables los proyectos e investigaciones que se están desarrollando en esta temática y debido a la extensa bibliografía disponible se mencionarán solamente algunas características relevantes para el entendimiento del presente trabajo. La mayoría de las personas tienen el concepto claro acerca de cómo los paneles solares aprovechan la radiación solar para la producción de electricidad, el siguiente paso de cara al usuario es la asimilación del tipo de configuración que debe implementar de acuerdo al número de cargas que posea y los dispositivos adecuados que debe adquirir para desarrollar la implementación. La arquitectura de mayor uso para una instalación de paneles solares se puede apreciar en la figura 2-3 en la cual se incluye una batería como un componente esencial para el almacenamiento de energía.

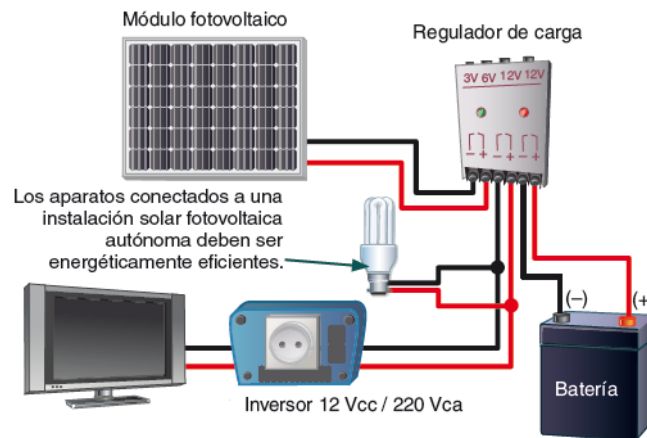


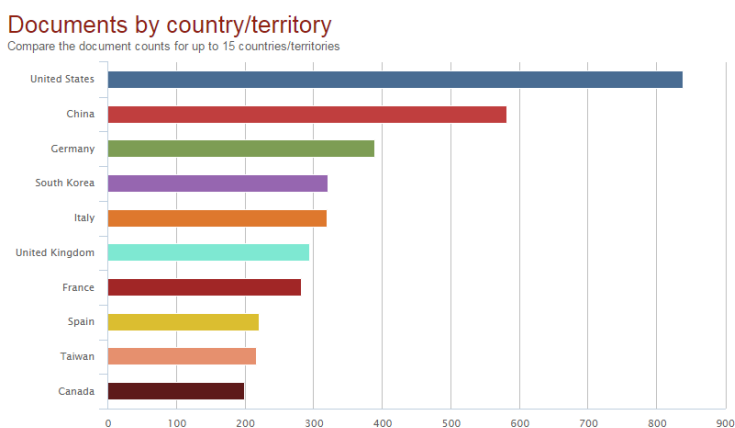
Ilustración 2-3: Instalación de paneles solares.

Otra configuración muy frecuente es la sustitución de la batería por una conexión directa a la red para habilitar un intercambio de recursos con usuarios vecinos cuando la energía esté disponible, se debe tener presente que esta arquitectura necesita la utilización de contadores bidireccionales y una red de comunicación robusta entre los usuarios y la empresa prestadora del servicio. En la bibliografía consultada se encontró que un balance adecuado entre la energía generada y consumida (aunque sea una condición de trabajo desfavorable) es indispensable para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema, se identificó a su vez algunos parámetros importantes como la tensión de circuito abierto, la corriente de corto-circuito, la corriente de iluminación y oscuridad que deben ser estudiados a profundidad para un trabajo futuro que requiera implementación real de un sistema fotovoltaico.

2.4. AUTOMATIZACIÓN EN EL HOGAR

En el caso de la automatización existen gran cantidad de aplicaciones en el mercado que permiten convertir un proceso cotidiano al interior del hogar, dependiente tanto del tiempo como de contacto con el usuario, en un proceso programado e inalámbrico que incrementa el confort y los servicios a las personas. Aunque se debe tener claro que este nuevo servicio por sí solo no representa un beneficio monetario en la facturación final de energía, sí representa un beneficio tangible para el usuario en el área del servicio y un ahorro del tiempo en los desplazamientos que debe hacer para accionar los dispositivos en su hogar. En la industria y la academia es usual encontrar el término “Domótica” para referirse a los sistemas que automatizan procesos al interior de edificios residenciales y el término “Inmótica” cuando se trabaja en edificios de oficinas, hospitales o centros comerciales que requieren una infraestructura mayor y un sistema de control que considere un rango superior de variables.

Para realizar una revisión bibliográfica pertinente sobre la automatización en el hogar se utilizó inicialmente la herramienta de análisis del gestor bibliográfico Scopus para identificar las tendencias a nivel internacional y construir un panorama relacionado con esta temática. Como se observa en la figura 2-4 la investigación y el desarrollo alrededor de la automatización en el hogar ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años. Los países con mayor aporte en la comunidad académica han sido Estados Unidos, China y Alemania, quienes actualmente generan desarrollo comercial y económico mediante la creación de empresas para la implementación de estas tecnologías.



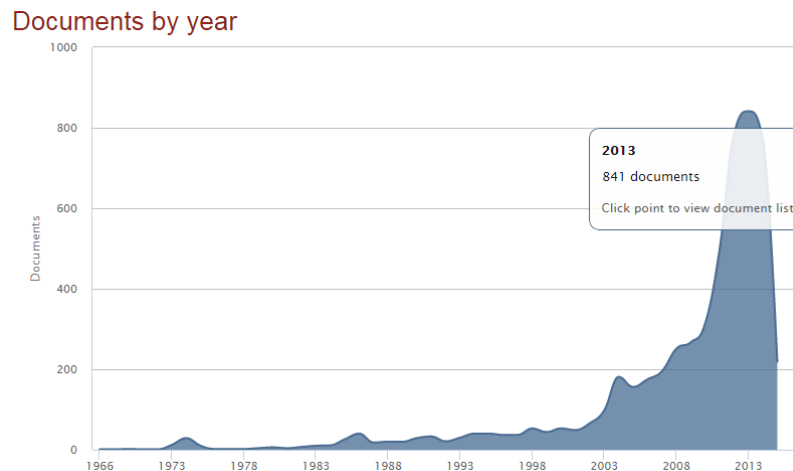


Ilustración 2-4: Tendencias sobre automatización a nivel internacional.

La herramienta de análisis bibliográfico también permite discriminar la información a partir de las características del escrito (artículo, ponencia, libro, etc) y el área de trabajo en la cual fue desarrollada, esta información se puede apreciar en la figura 2-5. Es importante resaltar que la mayoría de desarrollos realizados han sido construidos mediante ponencias y artículos para conferencias o encuentros académicos en las aéreas de ingeniería, ciencias de la computación y medicina. Aunque en Colombia este tipo de tecnologías se encuentra en una etapa incipiente es indispensable generar desarrollos a partir de las características de la región y consolidar esfuerzos para la implementación en los próximos años de estas tecnologías en el país.

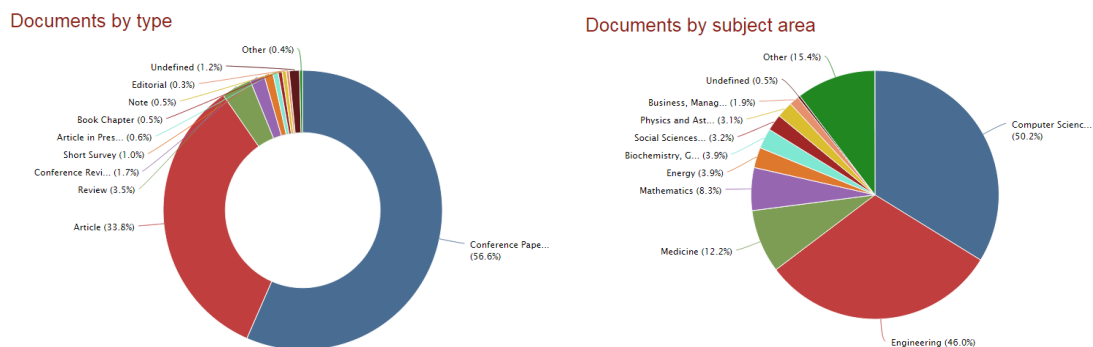


Ilustración 2-5: Tipos de documentos relacionados con la automatización en el hogar.

Es importante apreciar el increíble adelanto de las tecnologías de la información en las últimas décadas que ha permitido la incorporación de dispositivos de última generación tanto en oficinas como en el hogar para lograr un aumento en la eficiencia desde el punto de vista de confort y seguridad, sin olvidar un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos. Un aspecto interesante en la bibliografía enuncia que para lograr

una eficiencia energética no es necesario sustituir los aparatos o sistemas del hogar por otros más eficientes y costosos, en lugar de ello es preferible utilizar los existentes aplicando una gestión más eficiente para disminuir el consumo [Montesinos 2014].

El diccionario de la real academia española define la domótica como, “el conjunto de sistemas que automatizan los diferentes instalaciones de una vivienda”; por su parte el ingeniero Antonio Montesinos la define como **“las tecnologías para desarrollar un nivel de automatización al interior del hogar, la domótica integra la automatización en materia de electricidad, electrónica, informática, nuevas tecnologías de comunicaciones y aplicadas destinadas a mejorar la comodidad, la seguridad el ahorro energético y el bienestar dentro de los hogares”** [Montesinos 2014]. Debido a los múltiples tipos de aplicaciones que pueden ser instalados al interior del hogar se han seleccionado y clasificado los servicios de mayor relevancia identificados en la bibliografía [Romero 2007] en aquellos que permiten una gestión integral del dispositivo y los que facilitan simplemente el proceso de automatización. La clasificación se muestra en la tabla 2-1 y surge a partir del consumo que representa cada elemento en el total de energía diaria y los recursos que se deben implementar para su monitoreo, control y posterior visualización.

Tabla 2-1: Clasificación de Elementos.

Aplicaciones para Automatización	Aplicaciones para Gestión
Estado puertas y ventanas	Aire Acondicionado A.A
Alarmas técnicas	Calefacción
Detector de movimiento	Paneles Solares
Control persianas	Aerogeneradores
Control de accesos	Iluminación
Luces de paso	Almacenamiento
Simulación de presencia	Carro Eléctrico
On-Off de Electrodomésticos	Control Toma Corriente

Existen otros electrodomesticos que son de uso general y tienen un papel aleatorio en el consumo total de energía. La utilización de estos está ligada a los hábitos de trabajo, de estudio, la disponibilidad económica para adquirirlos y la importancia que cada usuario le otorgue a su utilización. Esta clasificación está indicada en la tabla 2-2 en la cual se presenta también electrodomesticos identificados como gestionables en los cuales se presentan patrones de uso definidos por las actividades periódicas o continuas.

Tabla 2-2: Tipos de Electrodomésticos.

Electrodomésticos Generales	Electrodomésticos para gestión
Licuadaora	Lavadora
Picadora	Nevera
Arrocera	Secadora
Horno	Lavaplatos
Plancha	TV - Teatro en casa
Cafetera	Equipo Sonido
Aspiradora	Calentador
Horno microondas	PC-Laptop

El aumento de la producción de estos elementos ha reducido los costos de adquisición, facilitando la introducción de estas tecnologías en la vivienda. Uno de los pilares para el éxito de estas tecnologías es la información oportuna al usuario de los beneficios de su desarrollo y la concientización de la sociedad alrededor del consumo energético, para ello muchas entidades gubernamentales y privadas han creado mecanismos de información como portales web (EcoGrid de la Unión Europea, SmartGrid.gov de Estados Unidos o Energy.gov) que incentivan a las personas a familiarizarse con los conceptos de las redes inteligentes y las estrategias de automatización. Estas iniciativas han motivado el desarrollo de trabajos a nivel global como se presenta a continuación.












2.4.1. Sistemas Internacionales

Para el desarrollo de la automatización y los sistemas de gestión, algunas empresas se destacan a nivel internacional por el desarrollo de productos y programas informáticos para el monitoreo y control de dispositivos al interior del hogar, un resumen de ellas se puede apreciar en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Empresas desarrolladoras de sistemas de gestión [Kling 2013].

No	Tecnología	Vendedor		Características
1	PowerMatcher	 smartgrid technology	ECN, Netherlands	Utiliza una disposición de agentes para otorgar los objetivos los del sistema.

Interfaz de usuario para la gestión de energía eléctrica en un ambiente residencial.
Pablo Julián Salamanca Bernal

2	PowerRouter		Nedap B.V Netherlands	Se estructura en 3 módulos principales: solar, baterías y red. Monitoreo por medio de aplicaciones en la web.
3	HomeControl		Control4 USA	Dispositivos con red inalámbrica. Incorpora pantallas de visualización y aplicaciones en la web y para dispositivos móviles.
4	Beywatch		FP7 Proyect Europa	Información de consumo e integración con hogares cercanos.
5	Intel Energy Management Software		Intel USA	Basado en PLC con una interfaz de usuario para configuración de prioridades.
6	Nest Learning Thermostat		Nest USA	Termostato inteligente que permite configuración desde laptop, tablet o Smartphone. Actualiza información vía Wi-Fi.
7	Smart Homes and Cities		Siemens Germany	Control centralizado sobre iluminación y ambiente climático.
8	RWE Smart Home		RWE Germany	Sistema de usuario para control de dispositivos eléctricos y calefacción. Control central con red inalámbrica para las aplicaciones.
9	Smart Energy Platform		Silver Spring USA	Integración de medición avanzada y controles inteligentes.
10	Tendril Smart Home		Tendril USA	Visualización de una red de dispositivos y aplicaciones.
11	Wiser Home Energy Management System		Schneider Electric Germany	Visualización de los dispositivos conectados a la red con medidores inteligentes.
12	Home Energy Management System		Panasonic Japan	Medidores inteligentes de agua, gas y de aplicaciones domesticas.

Se han clasificados los desarrollos en diferentes regiones debido a que sus resultados obedecen a características particulares de esas zonas, por ejemplo, las condiciones climáticas, las tendencias tecnológicas de los usuarios, las fuentes de energía y el desarrollo de las redes de comunicación:

- **USA:** Estados Unidos lidera el desarrollo de los sistemas de gestión de energía alrededor del mundo, principalmente por el envejecimiento que posee su infraestructura eléctrica. Esta nación cuenta con grandes espacios para la implementación de fuentes de energía renovables y se han enfocado en la respuesta a la demanda de aplicaciones en el hogar.
- **Unión Europea:** están desarrollando grandes proyectos enfocados en el desarrollo de dispositivos de medición inteligente y visualización de información. Uno de los proyectos piloto que se ha destacado es el programa Bornholm, donde se ha explotado al máximo el potencial de los recursos existentes para lograr un autoabastecimiento con fuentes de energía renovables. Este es un claro ejemplo de una sociedad autosostenible y de manejo eficiente de la red [Kling 2013].
- **En Asia y África:** No existe una unificación de criterio entre las naciones, y la principal aplicación de los sistemas de gestión están relacionados con los sistemas autónomos de generación local para sistemas de emergencia. En Japon la compañía Toshiba está ingresando en el mercado de control de energía en el hogar [Kling 2013].

2.4.2. Sistemas en Latinoamérica y Colombia

En Latinoamérica, Brasil ha sido un pionero en el desarrollo de estas tecnologías mediante la implementación de fuentes de energía renovable para autoabastecimiento y la utilización del carro eléctrico como elemento de almacenamiento. En Colombia las empresas han desarrollados prototipos enfocados en el mejoramiento del confort y la automatización. Existe una iniciativa gubernamental denominada Colombia Inteligente que se encuentra en la etapa de evaluación y de proyección hasta el 2020 con el objetivo de tener un mejoramiento continuo de la eficiencia de la red eléctrica instalada. En esta iniciativa convergen el sector privado, productivo y la academia que han comprendiendo la importancia de trabajar de la mano para lograr el desarrollo de estas tecnologías.

2.4.3. Estándares y sistemas comerciales.

En la tabla 2-4 se presenta un resumen de los principales estándares para la automatización de sistemas en el hogar.

Tabla 2-4: Estándares y sistemas comerciales de sistemas de automatización.

Estándares y Sistemas Comerciales								
Tipo	Nombre	Características	Ventajas y Desventajas		Med Físico	Vel Max	Long Max	Dispo
Sistemas Estándar	X-10	No requiere centralización ni a nivel físico ni lógico, es un sistema modular y distribuido. Apoyado por marcas como Marmitek, Home System, etc. Utiliza una estructura de mensajes sencillos y es fácil de instalar y utilizar, se recomienda su uso para viviendas de 300 m cuadrados aproximadamente. Requisitos mínimos de alimentación.	Carece de bidireccionalidad, no permite identificar el estado de un elemento después de haber enviado un orden. Depende del estado de la red y presenta limitaciones de uso.		PL - RF -IR	50 bps	1200 m	256
	EHS	Diseñados para aplicaciones sencillas y fáciles de instalar. Surgió como sistema abierto con control y gestión distribuida. Preparado para su uso en distintos medios simultáneamente. Esta basado en una topología de niveles OSI.	El sistema EHS esta convergiendo junto con el estandar EIB y BatiBus en un único estandar europeo para la automatización denominado KNX.		TP - PL - CX -FO -RF - IR	64000 bps	10000 m	1000
	BatiBus	Fue el primer bus de control domotico que apareció en el mercado. Es utilizado en los sistemas de control industrial. Tiene facilidad de instalación, bajo costo y capacidad de evolución. Usa la técnica CSMA-CA para resolución de colisiones en el bus.	Es un conjunto de centrales y modulos con un unico soporte de comunicación. La instalación se puede desarrollar en diversas topologías.		TP	100000 bps	150 m	50
	EIB	Es el protocolo de bus descentralizado europeo por excelencia. Esta basado en una estructura de niveles OSI, define a su vez una estructura extremo-extremo para distribuir la inteligencia entre los sensores y actuadores instalados. Los telegramas ocupan el bus de datos un lapso de tiempo entre 20 y 40 ms.	Presenta funciones de mando y control. Es un sistema descentralizado y cada elemento posee su propia electrónica de procesamiento.		TP	4800 bps	2500 m	7000
	LonWorks	Local Operating NetWork es similar a EIB, de mayor difusión en EEUU que en Europa. Utiliza el protocolo LonTalk para la red de comunicación. Es flexible y persigue la interoperabilidad entre empresas y fabricantes. Presenta independencia del medio físico y lenguaje optimizado.	Sistema de control distribuido con nodos independientes, su arquitectura es abierta y todos sus sus nodos están en un microcontrolador especial llamado Neuron		TP - PL - RF -IR	78000 bps	1000 m	32000
	KNX	Productos de distintos fabricantes con total interoperabilidad, facilitando la implementación de tecnologías plug & play. Sistema abierto e independiente, cada componente del bus dispone de inteligencia.	Modos de Configuración	S- Mode E- Mode A- Mode	TP - PL -RF	2400 bps	243 Fabricantes	14400
Sistemas Proprietarios	Simon-VIS - Maoirdomo - Amigo - Biodom - Cardio - Concelac - Dialogo - Domaik - Domotel - PLC - SSI - Starbox - Vivimat - X2D - TeleTask- PlusControl- GIV - Hometronic-			Estándares Relacionados	Bluetooth - Home RF - Sharewave - OSGi UPNP - UMTS			
Convenciones	PL = Corrientes Portadoras. RF: Radiofrecuencia. IR: Infrarrojo. TP: Par trenzado. CX: Cable Coaxial. FO: Fibra Optica.							

2.5. SISTEMA DE GESTION DE ENERGÍA EN EL HOGAR *HEMS*

En los últimos años el consumo de energía se ha incrementado debido a la sobrepoblación, las actividades económicas y el desarrollo de tecnologías que propician el aumento de las aplicaciones domésticas [Asare 2012] generando grandes cambios en el estilo de vida de las personas. Debido a la gran cantidad de variables presentes al interior del hogar, el diseño, implementación y planificación de un sistema de gestión de energía es un proceso complejo (figura 2-6). Como se presentó en la sección anterior la mayoría de los actuales sistemas están enfocados en la automatización generando un aumento del servicio y el confort; por su parte los HEMS además de proporcionar electricidad a todos los elementos de la vivienda, permite un monitoreo de la energía en las aplicaciones y un control sobre los servicios disponibles del sistema [Lee 2011].

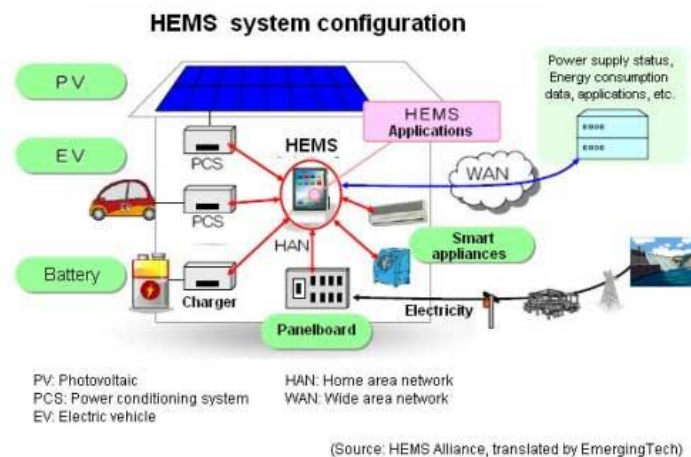


Ilustración 2-6: Estructura HEMS [HEMS Alliance Japón].

La energía es una parte esencial para el desarrollo socioeconómico de la humanidad y hace parte de una de las necesidades esenciales en la actualidad. Los fabricantes de aplicaciones para el hogar están buscando mejorar la eficiencia energética de sus productos como un paso necesario para la disminución del crecimiento de la demanda energética. Los HEMS son una herramienta fundamental para garantizar la optimización del uso de la energía en el hogar ya que son la parte final de la cadena de una red inteligente y facilitan la reducción y control de los picos de consumo en los usuarios y cuentan con mecanismos de comunicación bidireccional entre el usuario y la empresa distribuidora del servicio utilizando información en tiempo real para determinar las acciones sobre el proceso. Otra característica importante de las HEMS es la posibilidad de implementar acciones de automatización ofreciendo opciones de prioridades sobre las aplicaciones y cronogramas de ejecución de los dispositivos o fuentes de energía renovables que hayan sido instaladas [Lee 2011].

Cuando el sistema es encendido debe existir un barrido sobre los dispositivos instalados para la recepción de información sobre el estado de las aplicaciones y los modos de operación disponibles. Con ello se puede generar una secuencia de tareas que deben ser atendidas por el sistema dependiendo de la importancia de las mismas y el momento que el usuario desee ejecutarlas. Debe existir a su vez una opción de ejecución inmediata y la posibilidad de registro de nuevas aplicaciones que representen la flexibilidad del sistema. Es indispensable incluir ambientes digitales (figura 2-7) por ejemplo, centrales de información de tarifas incluyendo información meteorológica y geográfica reciente, como también la generación de una base de datos a partir de los hábitos de consumo.



Ilustración 2-7: Arquitectura HEMS [Kling 2013]

2.5.1. Revisión de arquitecturas de HEMS desarrolladas

Un HEMS es un excelente modelo de la red de potencia ya que incluye todos los procesos del sistema como la generación, distribución y consumo. Los sistemas de Gestión de Energía pueden subdividirse dependiendo del sistema de comunicación que utilicen, de acuerdo al tipo de arquitectura que empleen o por el número de servicios que presten al usuario. Un ejemplo de ello se aprecia en la figura 2-8:



Ilustración 2-8: Servicios de un HEMS.

La reducción del consumo energético puede surgir de los cambios tecnológicos o de la reorganización de la infraestructura existente. Un aspecto interesante trabajado por el estudiante Bediak [Asare 2012] es el cambio en la cultura de las personas respecto al ahorro energético. Las aplicaciones más utilizadas por la sociedad están relacionadas con la calefacción, aire acondicionado, lavandería e iluminación las cuales representan un gran consumo en los usuarios; muchos fabricantes procuran utilizar nuevos materiales y tecnologías que faciliten la eficiencia energética a partir de estos productos.

Ellos proponen también la clasificación de los dispositivos en aplicaciones controlables en grupo y aplicaciones controlables individuales. En estas últimas puede ser desplazado su funcionamiento sin afectar el confort y servicio de los usuarios lo que representa un posible ahorro en el costo final de la energía. Analizan los casos en los cuales la empresa prestadora del servicio realiza una retribución económica a los hogares que entregan energía eléctrica de la producción autónoma de la vivienda e indican que una vivienda por lo general produce más energía de la que puede consumir, para los casos en los cuales sea posible almacenarla o deba ser entregada a la red generando un factor de importancia en la reducción del costo total de energía.[Asare 2012].

Uno de los documentos en la revisión bibliográfica de mayor relevancia ha sido el desarrollado por el departamento de investigación en computación del Electronics and Telecommunications Research Institute encabezado por ingeniero Jeong [Lee 2011], ellos proponen una configuración para la implementación de las smartgrids en el hogar (figura 2-9) y presentan una metodología para el uso y descripción de la red inteligente. Desarrollan un monitoreo de la condición de los dispositivos en el hogar para su encendido, apagado y modo de operación, prestando a su vez un servicio en tiempo real del costo de energía. A continuación se presenta las propuestas desarrolladas en su investigación:

- Energy management service. Para optimización, eficiencia, regulación, control y medición de consumo.
- Renewable energy management system. Conexión con los DER y BMS para suplir energía.
- Energy storage management service. Almacenar energía directa o indirectamente, es sensible al cambio de precio, comportamiento del mercado energético y debe contar con los recursos y la infraestructura necesaria para proveer el servicio. Posible proyecto para una red neuronal.
- Energy information service. Información sobre energía almacenada, consumida, generada e información sobre los recursos distribuidos en la red.

- Energy status display service. Indicación del estado del sistema para toma de decisiones, trabaja en conjunto con el sistema de información.
- Control remoto mediante dispositivos inteligentes. Para la interfaz de usuario.
- Home grid alarm service. Alerta sobre dificultades en la red mediante un monitoreo de los dispositivos y circuitos, son verificados los equipos para mejorar la seguridad del lugar.

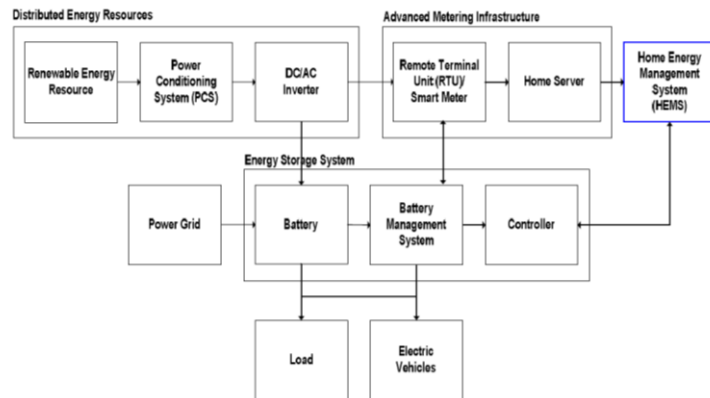


Ilustración 2-9: Conexión de las DER conectadas a la AMI y estas a su vez a las ESS [Lee 2011].

El monitoreo y control de la energía está enfocado principalmente en reducir los picos de carga y el ahorro de consumo, sin afectar el confort y el estilo de vida de los usuarios. Este esquema busca tener mayor eficiencia al utilizar las ESS conectadas a la Carga. El conjunto de ESI facilita la interacción entre la empresa prestadora del servicio y los dispositivos de la red al interior del hogar. Realiza recomendaciones sobre los elementos que sirven como ESI. Los elementos de MMI y HID permiten tener una interacción entre los usuarios y los servicios prestados por los HEMS (ver figura 2-10).

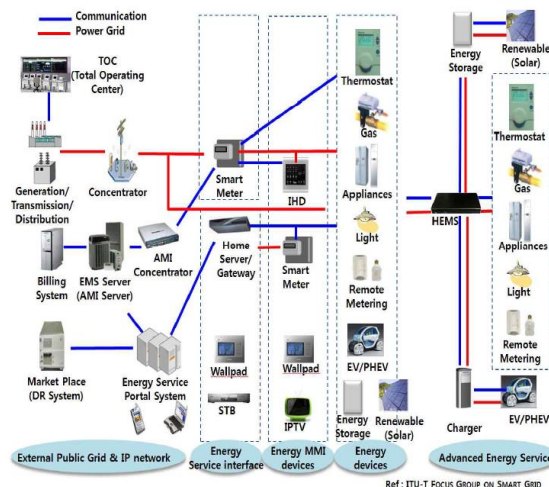


Ilustración 2-10: Interconexión del sistema de gestión propuesto [Lee 2011].

Por su parte el ingeniero Yusuf Ozturk y su grupo de trabajo desarrollaron una propuesta de un sistema de gestión personalizado mediante la implementación de una herramienta denominada Master Energy Controller MEC que utiliza un algoritmo basado en redes neuronales y logica difusa ANFIS [Ozturk 2013] para la toma de decisiones y un sistema de respuesta a la demanda que coordina la relación entre el suministro y el consumo de energía. El flujo de información de la red sigue el esquema indicado en la figura 2-11 y se destaca por la personalización del servicio debido a que el sistema aprende y se adapta a los patrones de consumo de los usuarios.

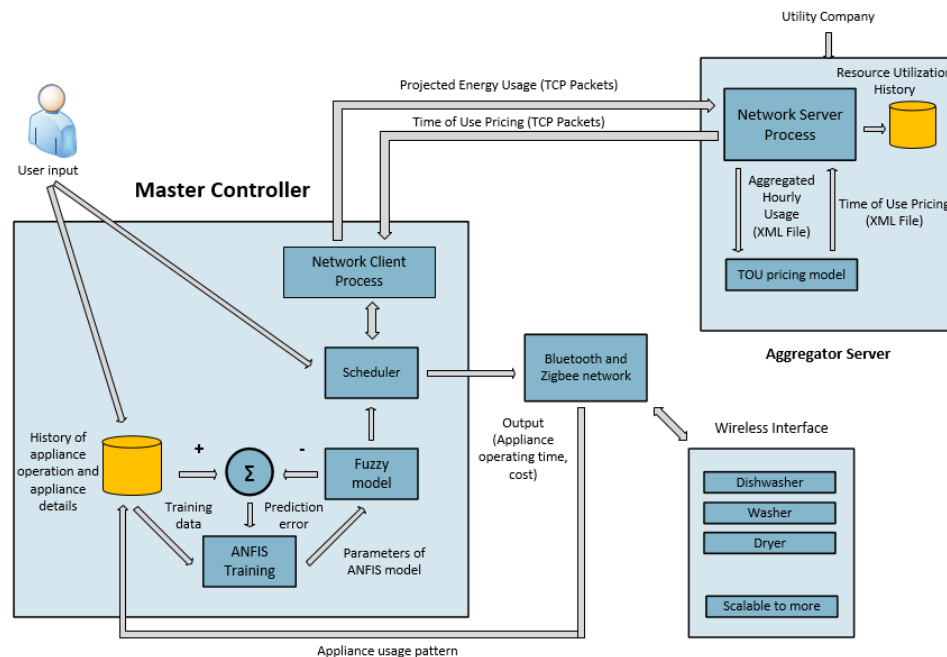


Ilustración 2-11: Flujo de información del sistema de gestión [Ozturk 2013].

El sistema está basado en el protocolo de comunicaciones IEEE 802.15.4 para el control de aplicaciones remotamente. Por su parte el MEC facilita el intercambio de información entre el usuario y la empresa prestadora del servicio con el objetivo de maximizar los beneficios cuando son implementadas políticas de tarifas variables. Los usuarios realizan tareas a determinadas horas del día, que marcan un comportamiento en los hábitos de consumo; estas tareas pueden ser organizadas y monitoreadas para aumentar la eficiencia del sistema. El MEC a su vez está encargado de configurar, controlar y programar la operación de actividades con base en factores como pronósticos de futuros picos de demanda, diferencia en los precios de energía, patrones de uso, factores sociales o medioambientales, disponibilidad del suministro e indicadores sobre el tipo de servicios que pueden ser atendidos con la energía disponible. Estos cronogramas de ejecución están a disposición del usuario para ser editados y ajustados a los requerimientos de los integrantes del hogar y de acuerdo a sus hábitos de consumo.

Se identificó una tercera arquitectura propuesta por la ingeniera Sanja Valeva y su grupo de trabajo de la Universidad de Cyril & Methodius en Macedonia [Valeva 2012]. Ellos proponen una plataforma compuesta por una red de nodos instalados directamente sobre los toma corrientes (Sockets). El sistema central incorpora inteligencia artificial para controlar el consumo de energía e implementan una serie de reglas para la clasificación de las aplicaciones basado en decisiones de árbol, criterios de consumo y variación de tarifas existentes. Expone el concepto de minería de datos, no solo para el análisis de la información sino también, y organizar acciones para la conservación de energía teniendo en cuenta el control de un gran número de tareas complejas que hacen parte del sistema.

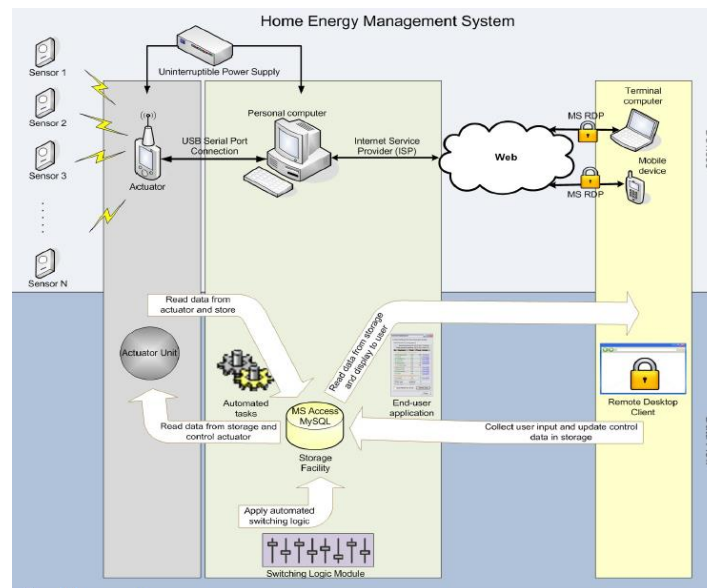


Ilustración 2-12: Arquitectura propuesta de un Home Energy Management System [Valeva 2012].

El sistema utiliza tres tipos de bases de datos para la recolección de la información (ver figura 2-12). Una de ellas está enfocada exclusivamente en comprobar el cumplimiento de las condiciones de ejecución, chequeando el periodo del día, el consumo de potencia actual, el estado actual del sensor, la solicitudes de eficiencia, (standby o consumo sin uso) y el consumo programado. Esta información es enviada a una segunda base de datos quien ejecuta la tarea de conmutación del estado del socket. Los actuadores pueden ser iniciados por el usuario, o por la tarea de función lógica que hace parte del mecanismo de toma de decisiones. Este mecanismo tiene en cuenta la cantidad de sockets del sistema y el tipo de aplicaciones que estarán conectadas. Se debe tener presente que cada nodo posee una alimentación separada para facilitar el control y monitoreo sobre cada dispositivo. Finalmente los elementos de medida conectados a cada socket reúnen la información de consumo y la envían al nodo central del sistema.

La secuencia de tareas que realiza el sistema se resume a continuación:

- Identificación de encendido y apagado en tiempo real de dispositivos de consumo en el hogar.
- Identificación de información necesaria para predecir o reconocer un patrón de comportamiento al interior de una vivienda.
- Reconocer aplicaciones que han sido conectadas a los sockets.
- Identificar el consumo de las aplicaciones que se encuentran en standby.
- Control sobre el estado de los dispositivos.
- Comprobación de las reglas predefinidas.

Finalmente se destaca el sistema de gestión propuesto por los ingenieros Young-Sung y Kyeong-Deok de Korea [Son 2010] quienes utilizaron la línea de alimentación de energía para generar sobre ella la comunicación entre los nodos del sistema. La red en el hogar es mezclada con la capacidad de internet para mejorar el control de la energía en la vivienda. La combinación de medidores inteligentes y la comunicación por línea eléctrica PLC proporcionan acceso remoto de las aplicaciones.

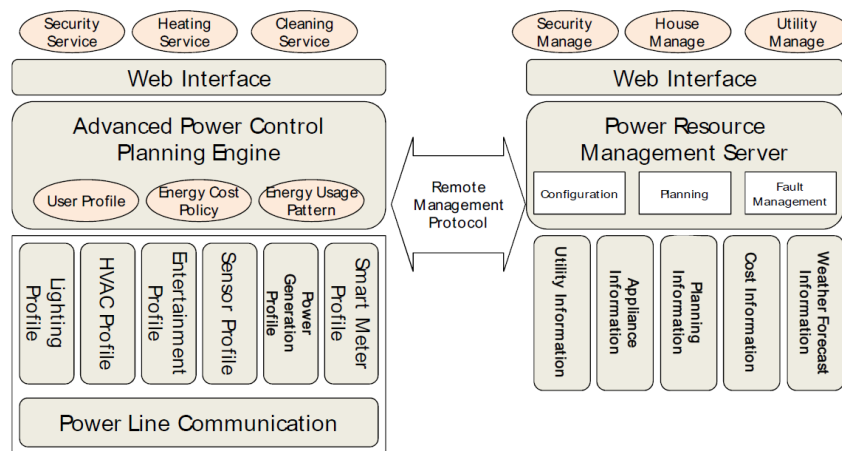


Ilustración 2-13: Estructura del software para el sistema de gestión [Son 2010].

Implementan un Energy Service Portal (ESP) para la visualización y control de la información que ha sido recolectada en intervalos de 15 minutos y utilizan el concepto de Residential Gateway para conectar la red LAN del hogar con una red WAN que permite el intercambio de información con el exterior. El software desarrollado formula un plan de control optimizado a partir de la carga (medición inteligente), el precio de la energía, la información medioambiental del exterior y los perfiles de usuario construidos a partir de los patrones presentados en un historial de consumo.

A diferencia de los sockets presentados en la estrategia de gestión anterior este sistema realiza una diferenciación de perfiles de consumo (sensores), HVAC, generación, entretenimiento e iluminación como se indica en la figura 2-13 para caracterizar cada aplicación y realizar la gestión del proceso. El software diseñado trabaja en tres áreas, inicialmente con toda la información de pronóstico del tiempo, costos y perfiles se realiza un planeamiento avanzado, posteriormente se implementa el control personalizado de cada dispositivo consultando el servidor de control de recursos de energía donde han sido almacenados los perfiles de usuario.

2.6. CONCLUSIONES

Se ha expresado que la domótica es el término utilizado para denominar la parte de la tecnología eléctrica y electrónica que integra el control y supervisión de los elementos existentes en una vivienda mediante la disposición de una red de comunicación que permita la interconexión para obtener información del entorno domestico y determinar acciones sobre el mismo. Todo ese sistema es un conjunto de funciones que facilitan el monitoreo, control, planeamiento y reparación de operaciones, proporcionando a su vez información sobre el estado de los dispositivos instalados en el hogar. Estos sistemas han sido desarrollados en múltiples escenarios y con diferentes características en su arquitectura e implementación en su mayoría con el objetivo de aumentar la eficiencia energética o generar un autoabastecimiento en el caso de las fuentes de energía renovables.

El aumento constante de la demanda energética en la sociedad ha impulsado en diferentes naciones estudios enfocados en el desarrollo de herramientas que permitan mejorar la eficiencia de la red, incluyendo el consumo de las aplicaciones y el comportamiento de los usuarios al interior de la vivienda. La mayoría de estos proyectos poseen un presupuesto elevado, debido a la infraestructura, equipos y tecnologías que deben desarrollarse en el proceso de implementación, por lo tanto el sector industrial ha estrechado sus lazos con la academia y ha iniciado el desarrollo de programas de gran impacto para el futuro de la humanidad.

3. Capítulo

HOME

CONTROLLER

En este capítulo se abordará inicialmente la descripción de la solución propuesta para la herramienta software, detallando la arquitectura general del sistema y sus tres componentes principales. El primer elemento desarrollado es el sistema de gestión y las estrategias de control implementadas, en segundo lugar se presentará la interfaz de usuario describiendo los diagramas conceptuales, el sistema de comunicación, los modos de funcionamiento y la interacción grafica con el usuario. Finalmente, en un tercer componente se detalla la implementación de la base de datos y la descripción del hardware empleado para el desarrollo del proyecto.

3.1. SOLUCIÓN PROPUESTA

A partir de la revisión bibliográfica se consolidó una propuesta para la gestión de energía en un ambiente residencial, a continuación se presentan la estructura general del sistema y la arquitectura propuesta para el desarrollo de la herramienta software.

3.1.1. Estructura general del sistema.

En la figura 3-1 se observa la estructura general de un sistema residencial en cual se puede realizar la gestión de su consumo de energía eléctrica mediante la implementación de un software de gestión (HEMS).

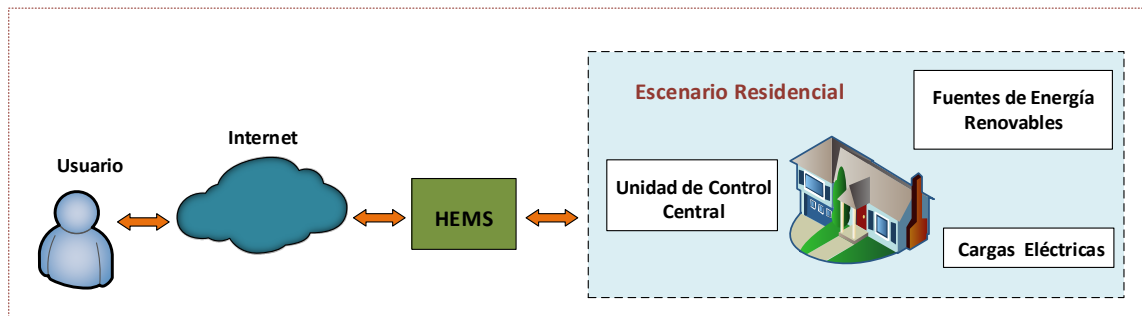


Ilustración 3-1: Estructura general del sistema.

3.1.2. Estructura de la solución propuesta.

Para el desarrollo del presente proyecto no es posible instalar físicamente una red de sensores o elementos de control distribuidos en el hogar que recolecten la información hacia un nodo central de procesamiento, por tal motivo se decidió realizar una aplicación software adicional que simule estas condiciones del escenario residencial. En la figura 3-2 se presenta la arquitectura de la solución propuesta en la cual se identifican cuatro elementos esenciales del sistema. Primero en la parte derecha se observa el escenario residencial simulado, el cual será abordado en la sección 4.2; en la parte central se encuentra la base de datos y el sistema de gestión HEMS, los cuales realizan el procesamiento de información y toma de decisiones. Finalmente en la parte izquierda se identifica la interfaz de usuario, la cual facilita la interacción del sistema con el cliente mediante una aplicación web.

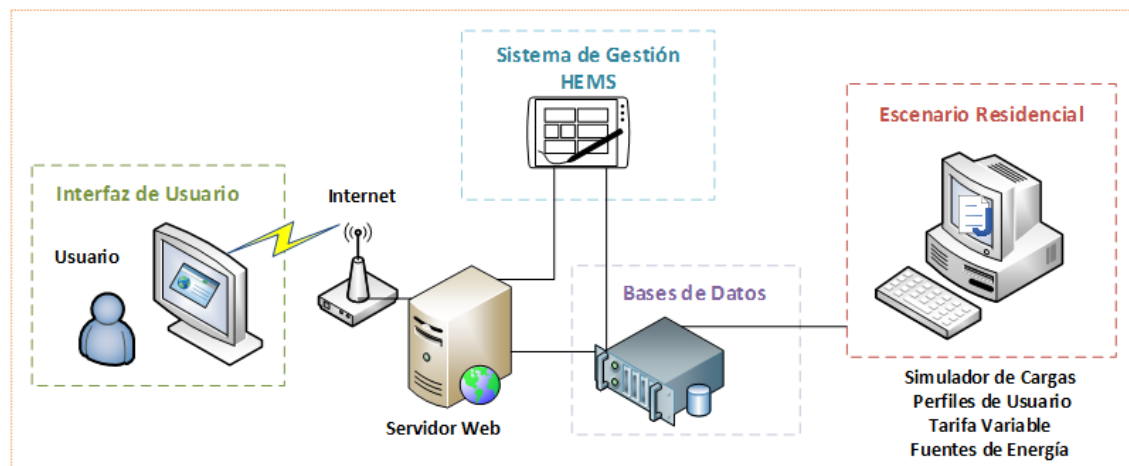


Ilustración 3-2: Arquitectura de la solución propuesta.

En el desarrollo de la herramienta software fue utilizado el programa XAMPP para permitir la ejecución del sistema en un solo computador como se aprecia en la figura 3-3. Este software de uso libre es un paquete de herramientas que simulan una red de internet en un ordenador. Utiliza a APACHE como servidor web y facilita a su vez la comunicación con el servidor de base de datos MySQL. En la figura 3-3 se aprecia la arquitectura a nivel software de la solución propuesta, en la cual se presentan los lenguajes de programación empleados para desarrollar los módulos del sistema. El usuario (cliente) tiene la posibilidad de interactuar con una aplicación web enlazada con el sistema de gestión y la base de datos que procesan la información de los dispositivos del apartamento modelo simulado en la aplicación java.

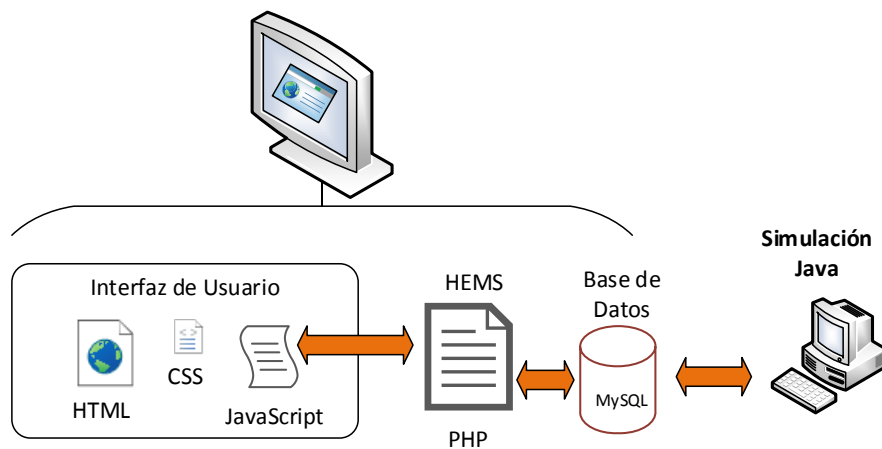


Ilustración 3-3: Arquitectura software propuesta.

Por su parte el sistema de gestión es ejecutado en archivos php que permiten un procesamiento de mayor velocidad comparado con los lenguajes tradicionales para la construcción de aplicaciones web. Es importante resaltar que al ejecutar el simulador de perfiles de usuario se entabla una comunicación independiente con la base de datos (Java-MySQL) actualizando así los registros que lee el HEMS, generando una interacción simulada entre el escenario de estudio y la herramienta software.

La interfaz de usuario fue desarrollada en lenguaje HTML versión 5.0 relacionada a un archivo script en lenguaje JavaScript que actúa como gestor de interacciones entre la aplicación y el usuario. Para mejorar la parte visual de la GUI se utiliza el lenguaje por hojas de estilo CSS, lo que facilita el desarrollo de una interfaz interactiva e intuitiva para el usuario. Para establecer el envío y recepción de información desde JavaScript hacia el HEMS se utilizó el framework JQuery, en especial la función AJAX que permite la transferencia de información entre estos elementos.

3.2. SISTEMA DE GESTIÓN - HEMS

Partiendo de la solución propuesta en la figura 3-2 se aborda inicialmente el Sistema de Gestión HEMS el cual está ubicado entre la base de datos y el servidor web que permite cargar la interfaz de usuario en un navegador. A continuación se presentará un diagrama general de la conexión realizada del HEMS en el sistema y se describirán las estrategias de gestión diseñadas para el control de las dispositivos del escenario propuesto.

3.2.1. Diagrama General.

En la figura 3-4 se presenta la ubicación del HEMS en la solución propuesta del sistema. Es importante recordar que el HEMS está estructurado en archivos php, por lo tanto la conexión entre el servidor web, el HEMS y la base de datos se realiza internamente en un solo computador gracias al programa XAMPP.

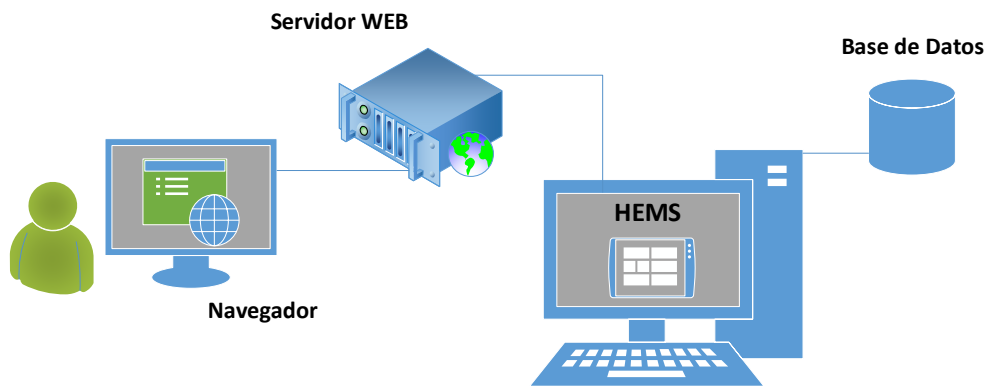


Ilustración 3-4: Diagrama general del sistema de gestión.

3.2.2. Estructura del HEMS.

La construcción del sistema de gestión está basada en dos estrategias de control:

1. **Gestión por Objetivo:** esta estrategia de control está relacionada con la programación por parte del usuario de un objetivo de consumo mensual que permita determinar el apagado de dispositivos en determinadas horas del día al analizar si el usuario está excediendo el consumo programado. El usuario tiene la posibilidad de configurar las cargas para ser apagadas de forma automática o por el contrario si desea que el software le indique solamente sugerencias para realizar el apagado de forma manual; esta característica permite inhabilitar el HEMS para algunas cargas que se consideren críticas.

2. **Gestión por prioridades:** en esta estrategia de gestión el usuario debe adjudicar a cinco elementos eléctricos una de las tres posibles prioridades; automática, manual o semi-automática. Posteriormente el sistema almacena esta configuración en la base de datos y el HEMS realiza un análisis de la tarifa variable por franjas horarias con el objetivo de determinar la hora más económica para la ejecución de la aplicación generando así un desplazamiento en el funcionamiento de las aplicaciones a lo largo del día.

En la figura 3-5 se presenta un diagrama de bloques de la estructura del sistema de gestión y las estrategias de control diseñadas

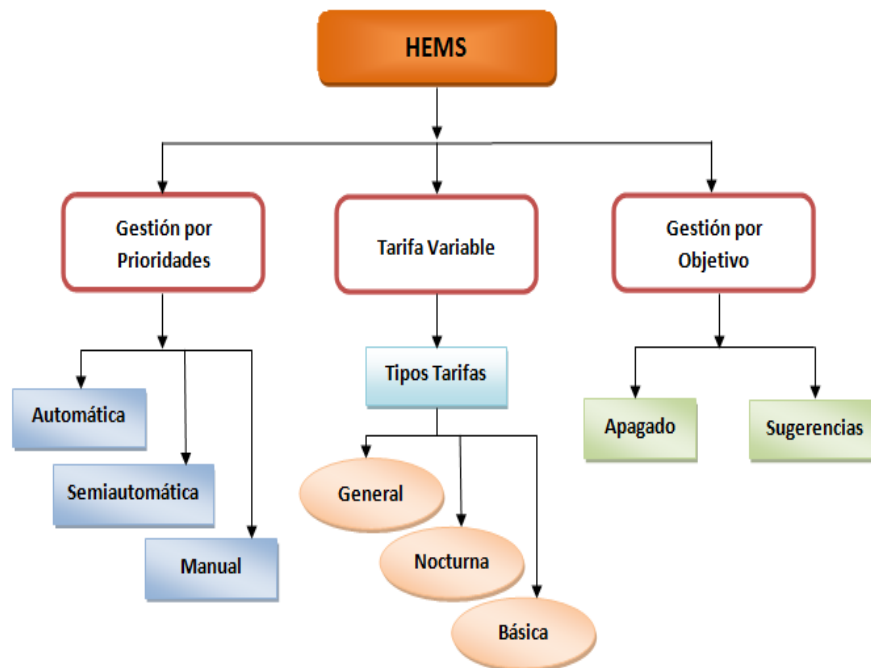


Ilustración 3-5: Estructura del sistema de gestión.

En las dos estrategias de gestión implementadas, el apagado o encendido de las aplicaciones puede ser configurado de acuerdo a las preferencias del usuario para evitar interferencia en el servicio o comodidad de los habitantes de la vivienda. La componente de tarifa variable presentada en la parte central de la figura 3-5 ha sido incluida como una estrategia de gestión independiente y adicional a la herramienta software, esto con el objetivo de determinar si la implementación de una tarifa variable representa un beneficio en el escenario planteado, independiente del sistema de control utilizado.

3.2.3. Algoritmos del HEMS.

Cada estrategia de gestión está ligada a un algoritmo de control que permite ejecutar acciones de apagado sobre los elementos eléctricos asociados al HEMS. En la figura 3-6 se presentan los diagramas de bloques que describe la lógica implementada para la ejecución de cada estrategia de control:

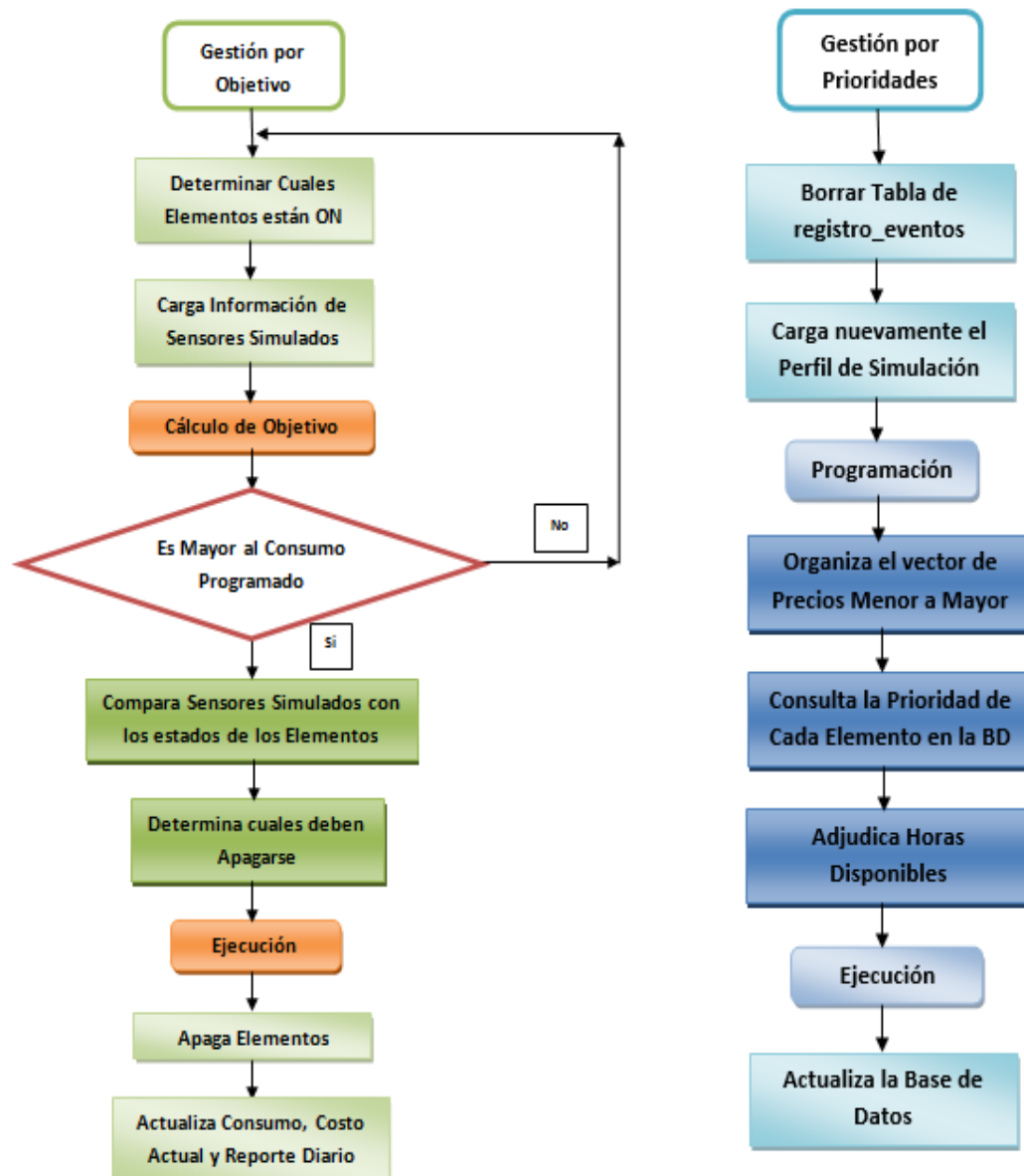


Ilustración 3-6: Algoritmos del sistema de gestión.

Las estrategias de control fueron desarrolladas en tres etapas: (figura 3-6):

1. La primera obedece a la captura de las condiciones iniciales y la evaluación del estado actual del sistema.
2. La segunda está relacionada con los cálculos que efectúa el HEMS.
3. Finalmente en la tercera, se realizan las acciones determinadas por el HEMS compensando la información de consumo, el costo y la base de datos.

3.3. INTERFAZ DE USUARIO

El desarrollo de la interfaz de usuario siguió la metodología del **Proceso Racional Unificado (RUP)** la cual permite un planteamiento estructurado de las actividades a realizarse e implementa las mejores prácticas para la descripción cohesiva y bien documentada de software.

3.3.1. Diagrama General

Los usuarios tienen acceso al HEMS mediante una interfaz grafica GUI por sus siglas en inglés (Graphical User Interface) la cual se ejecuta en un navegador web, su estructura es presentada en la figura 3-7.

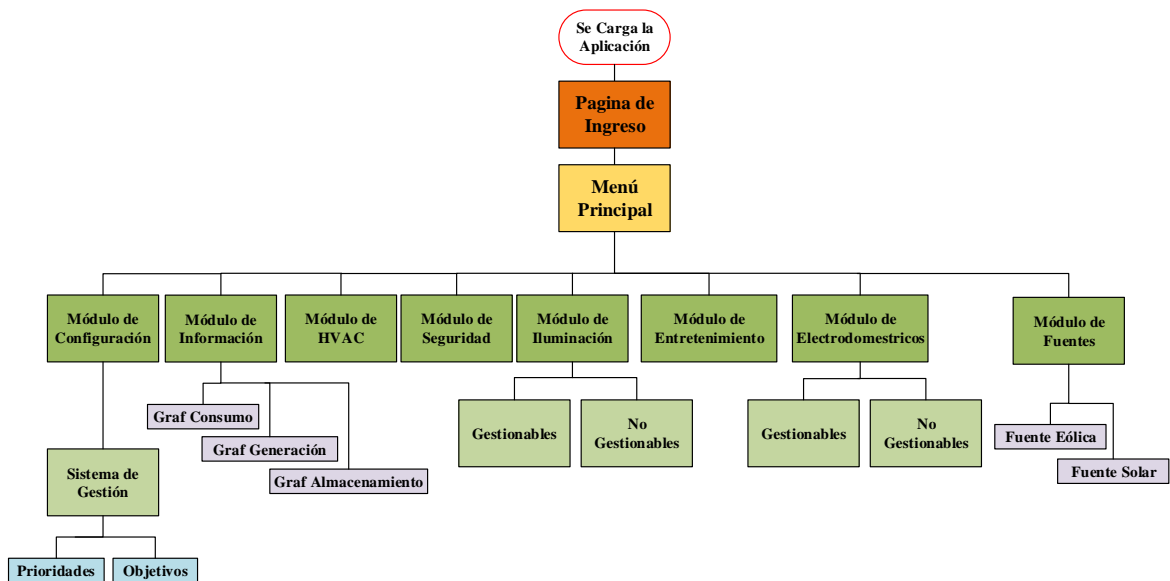


Ilustración 3-7: Estructura de la interfaz de usuario.

3.3.2. Diseño.

En la etapa de diseño se realizó un boceto inicial de la interfaz de usuario mediante la aplicación gratuita Moqups propiedad de Google, la cual permite realizar diseños iniciales para el desarrollo de software facilitando la identificación de segmentos de programa que deben desarrollarse. En la figura 3-8 se expone el pre-diseño del Menú Principal el módulo de iluminación y la sección de información que permite la representación grafica de los datos.



Ilustración 3-8: Bocetos iniciales.

3.3.2.1. Diagrama Conceptual.

Un diagrama conceptual (figura 3-9) es una red de nodos que representan conceptos de una aplicación software unidos por una serie de enlaces que representan las relaciones entre ellos, su construcción facilita en el diseño la identificación de las interacciones que se pueden desarrollar cuando el usuario utiliza la herramienta software.

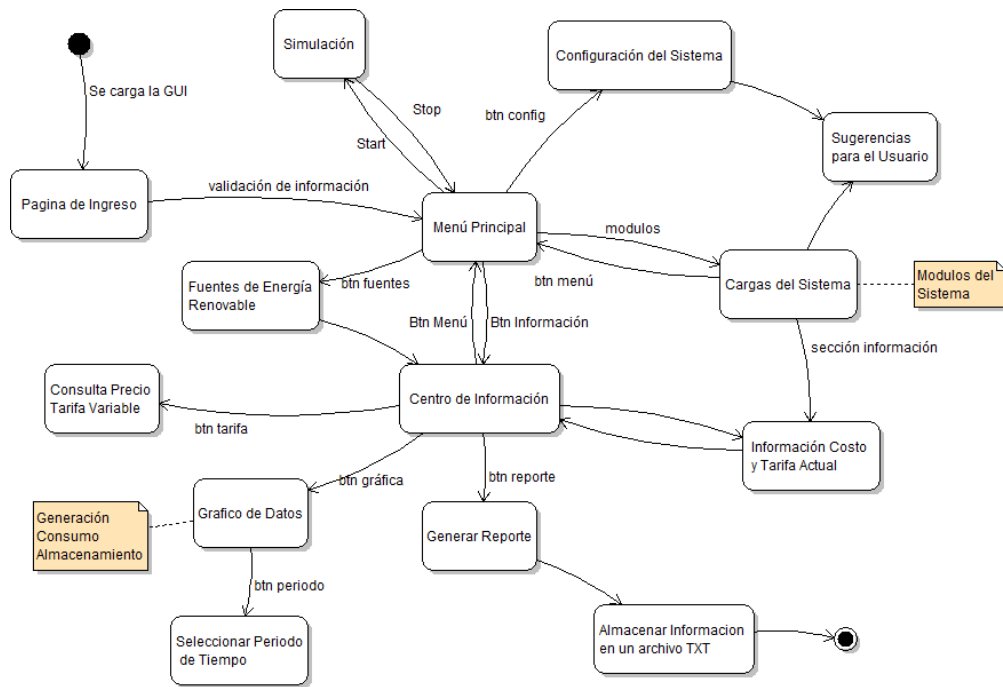


Ilustración 3-9: Diagrama conceptual.

3.3.2.2. Diagrama de Casos de Uso.

En la figura 3-10 se observa el diagrama de casos de uso de la interfaz de usuario, la cual permite identificar como el cliente puede operar el sistema además de la forma como los elementos interactúan.

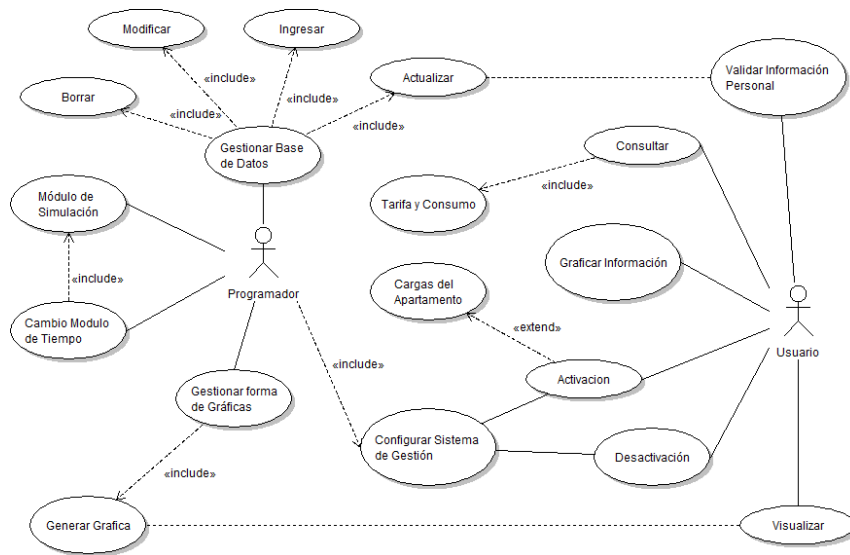
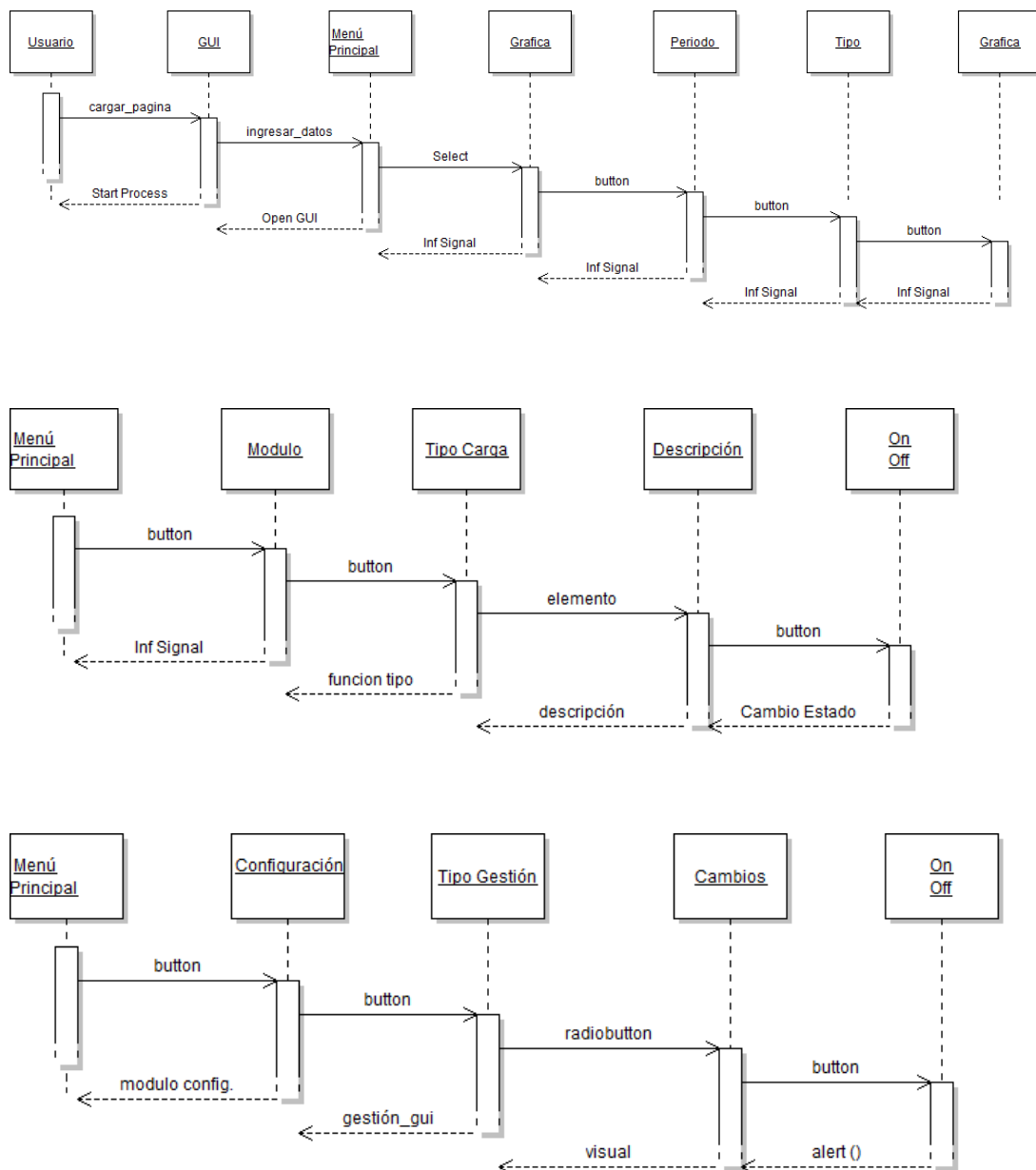


Ilustración 3-10: Diagrama de casos de uso.

3.3.2.3. Diagramas de secuencia.

Los diagramas de secuencia representan la interacción entre un grupo de objetos en un lapso de tiempo. En la figura 3-11 se aprecian los diagramas de secuencia para las actividades de mayor relevancia en la herramienta software.



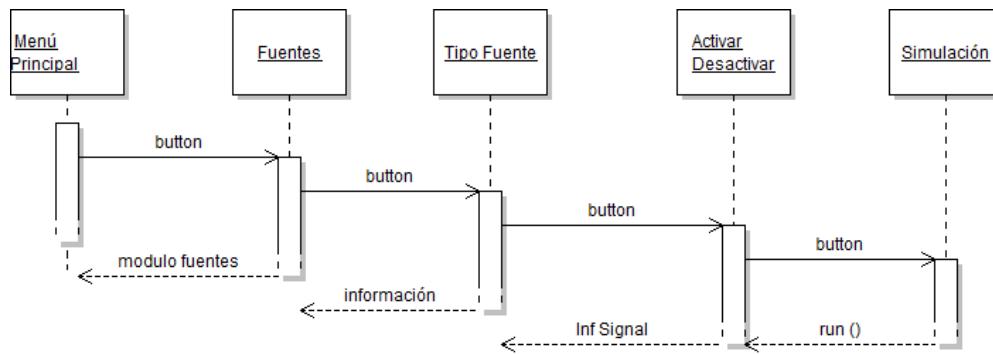


Ilustración 3-11: Diagramas de secuencia.

3.3.2.4. Diagrama de clases.

El diagrama de clases permite describir la estructura de un sistema indicando sus clases, atributos, operaciones (métodos) y las relaciones entre sus objetos. La interfaz grafica de la herramienta software fue desarrollada en código HTML y JavaScript por lo tanto el diagrama de clases presentado en la figura 3-12 está enfocado en la representación de las relaciones desarrolladas en el lenguaje JavaScript debido a las interacciones que este genera entre el usuario y la aplicación.

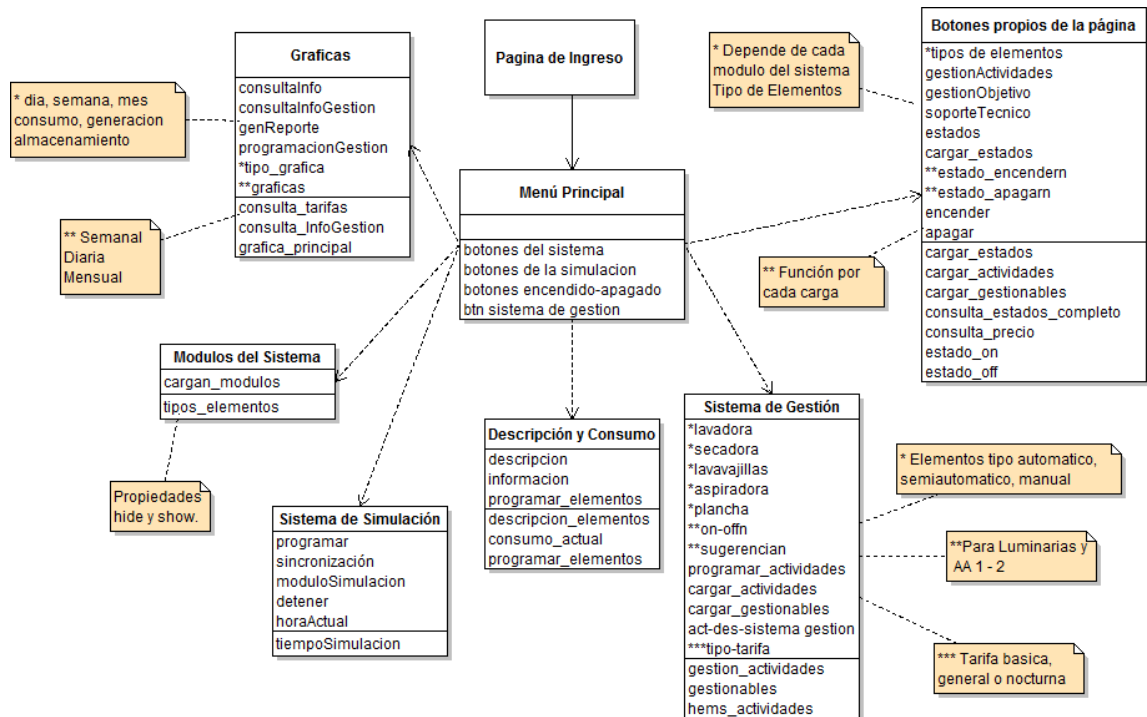


Ilustración 3-12: Diagrama de clases de la interfaz grafica.

3.3.3. Modos de Funcionamiento.

Para verificar el funcionamiento de la aplicación desarrollada se debe seguir una serie de protocolos que permitan la correcta recolección de información del usuario, se han definido dos tipos de funcionamiento posibles como se indica en la figura 3-13.

1. **Monitoreo y Control:** como su nombre lo indica este funcionamiento está limitado solamente al monitoreo y control de las cargas desde la interfaz de usuario. El usuario de forma manual puede ejecutar o programar el encendido de elementos o visualizar información de consumo y costo en un periodo de tiempo.
2. **Simulación de los perfiles de usuario:** el segundo modo de funcionamiento está relacionado con la puesta en marcha del sistema de gestión y las fuentes de energía renovables cuando son simulados los perfiles de usuario predefinidos. Debido a esto la manipulación manual una vez iniciada la simulación debe evitarse. Este modo de funcionamiento presenta solamente un impacto visual y funcional en la aplicación como se esboza en la figura 3-13.

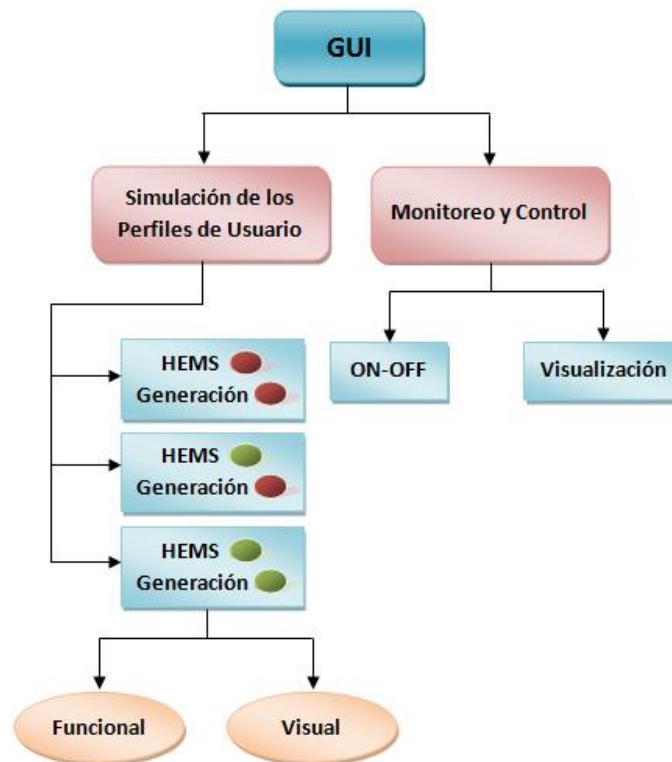


Ilustración 3-13: Funcionamiento de la Interfaz de Usuario y el Sistema de Gestión.

3.3.4. Ejecución de tareas.

La estructura de comunicación se desarrolló alrededor de seis tareas que la aplicación debe ejecutar para el control y monitoreo de los dispositivos en el escenario simulado. Estas tareas son presentadas en la tabla 3-1 y su relación se indica en la figura 3-14.

Tabla 3-1: Tareas para desarrollar la comunicación del HEMS.

Tarea	Actividad	Tarea	Actividad	Tarea	Actividad
1	Recolección	3	Gestión	5	Control
2	Información	4	Ejecución	6	Visualización

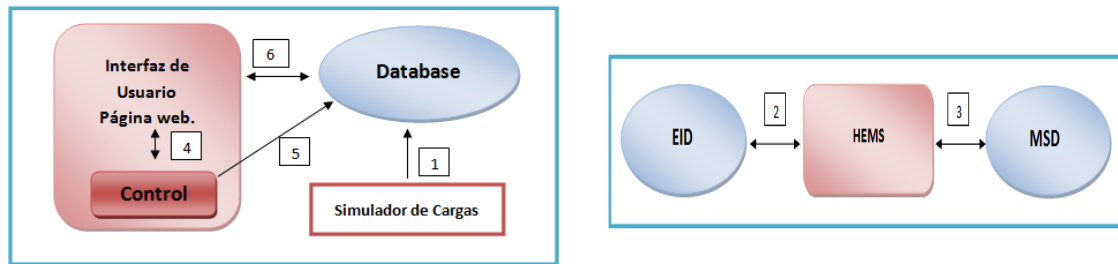


Ilustración 3-14: Tareas del sistema.

1. Inicialmente tenemos una tarea de recolección de información relacionada con los estados de los elementos, las condiciones medioambientales y de facturación. En una implementación real esta tarea estaría a cargo de la infraestructura de medición; en este caso es realizada por la aplicación Java que actúa como simulador de perfiles de consumo depositando la información directamente en la base de datos.
2. A continuación se ejecuta la tarea de información, en la cual el sistema se apoya en la base de datos Economic Information Database (EID) compuesta por los dos centros de información:
 - a. Economic Information Center (EIC).
 - b. Meteorological Information Center (MIC).

Los cuales ejemplifican el papel que debería cumplir la empresa prestadora del servicio.

3. En la tarea tres se ejecutan los algoritmos de gestión con la información recolectada y se toman las decisiones a realizar en el sistema.

4. La tarea de ejecución está relacionada con la comunicación realizada desde la interfaz de usuario hasta los dispositivos que deberían ejecutar las decisiones tomadas por el sistema de gestión.
5. La tarea cinco de control se realiza internamente en la interfaz de usuario, debido a las condiciones de simulación del sistema de gestión, y está relacionada a la realimentación del sistema de control respecto a las aplicaciones intervenidas por el sistema de gestión.
6. Finalmente se realiza la tarea seis relacionada con la visualización de la información en la interfaz de usuario.

3.3.5. Interfaz visual y gráfica.

La interacción del usuario con el sistema de gestión es fundamental para lograr que las personas al interior de la vivienda se conviertan en partes activas del proceso. Una forma didáctica de conseguirlo es mediante una interfaz gráfica que permita de forma práctica y sencilla informar a los usuarios el comportamiento del sistema.

3.3.5.1. Página de Ingreso.

Cuando la aplicación es cargada en el navegador inicia la solicitud de usuario y contraseña en una “Página de Ingreso” como se aprecia en la figura 3-15; una vez verificada la información y los permisos del usuario el sistema despliega una página de acceso (figura 3-16), posteriormente se presiona el botón “Start” para desplegar los ocho módulos del sistema en el “Menú Principal”.



Ilustración 3-15: Página de ingreso.



Ilustración 3-16: Página que verifica los permisos de usuario.

3.3.5.2. Menú principal.

En esta ventana se puede apreciar los ocho módulos del sistema (iluminación, hvac, electrodomésticos, entretenimiento, elementos de cocina, energía renovable, información y seguridad), y en la parte derecha la zona de “Simulación” la cual indica el inicio, la detección y tiempo que se lleva efectuando el proceso de simulación (figura 3-17).



Ilustración 3-17: Menú principal.

3.3.5.3. Módulo de iluminación.

En la figura 3-18 se aprecia el primer módulo del sistema, correspondiente a la Iluminación del apartamento modelo. Esta ventana está dividida en seis zonas de trabajo:

1. La primera ubicada en la parte izquierda de la figura 3-18 en la cual se ubican los “Tipos de Elementos” (botones de color azul).
2. La zona de características, ubicada en la parte derecha, la cual brinda una descripción corta (realizando clic sobre el nombre) de los elementos seleccionados, se encuentra a su vez información de consumo actual y el objetivo indicado por el usuario para un periodo de tiempo determinado.
3. La tercera zona ubicada en la parte inferior izquierda denominada “Información del Sistema” contiene dos letreros dinámicos encargados de presentar información relevante al usuario sobre el estado del sistema, como por ejemplo el sobrepaso del objetivo, la programación o el encendido de un elemento.
4. En la parte inferior derecha se aprecia la cuarta zona denominada “Programación de Elementos”, la cual permite programar el encendido de un elemento solicitando la hora y la duración del evento, contiene a su vez una función asociada para realizar los cálculos de consumo y costo de la activación de ese elemento.

5. En la parte central se observa la quinta zona en la cual se presentan las luminarias asociadas al tipo de elementos seleccionado junto con el estado actual de cada una y dos botones adicionales para gestionar su encendido o apagado.
6. Finalmente en la parte derecha se aprecia la zona de “Simulación” y un botón para ingresar a la zona de configuración (botón verde esquina inferior derecha).

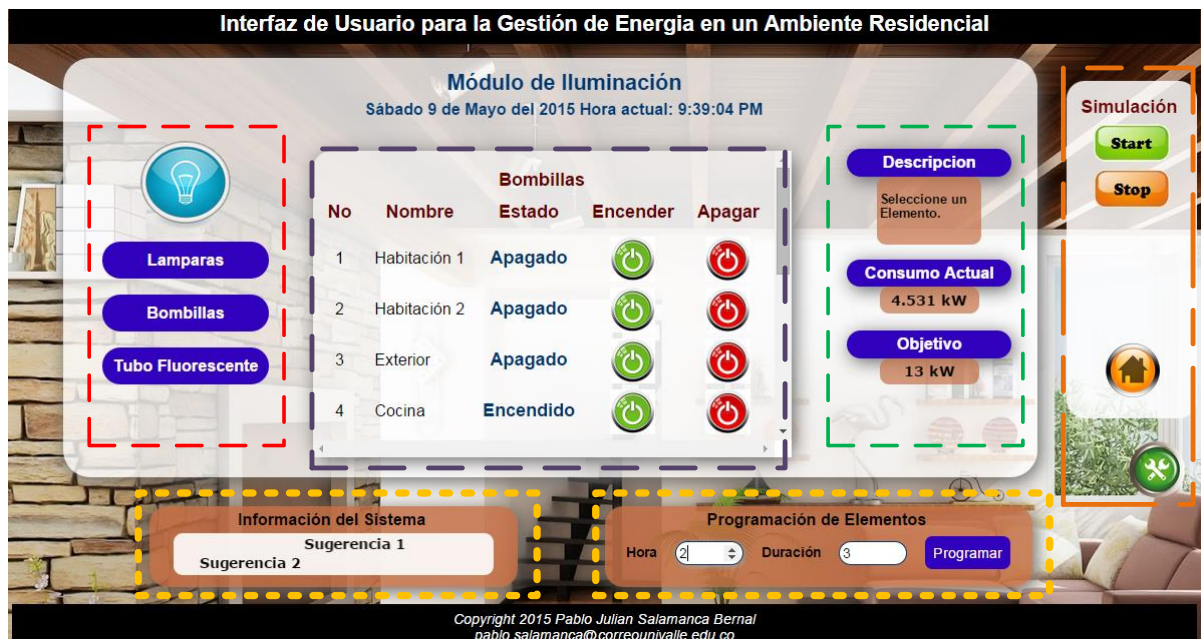


Ilustración 3-18: Módulo de Iluminación.

3.3.5.4. Módulos de entretenimiento y electrodomésticos.

En la figura 3-19 se aprecian los módulos del sistema relacionados con los electrodomésticos y los dispositivos de entretenimiento. Estructuralmente son similares al módulo de Iluminación descrito anteriormente. La variación sustancial se encuentra en los tipos de elementos de cada módulo y los dispositivos asociados a cada uno. La información relacionada con las cargas y el escenario propuesto será presentada en el capítulo 4 “Pruebas y Resultados”.



Ilustración 3-19: Módulos de Entretenimiento y de Electrodomésticos.

3.3.5.5. Módulos de HVAC, elementos de cocina y seguridad.

En la figura 3-20 se presenta el módulo de HVAC asociado a los aires acondicionados y la ducha eléctrica utilizados en el escenario propuesto, los módulos asociados a cargas eléctricas son estructuralmente similares para facilitar la interacción con el usuario. Es importante destacar que la actualización de información correspondiente al estado y al consumo actual, cuando se ejecuta la simulación, se realiza cada 60 minutos, tiempo estipulado en la etapa de diseño. En trabajos futuros se prevé que este tiempo debe recortarse de acuerdo a los requerimientos del usuario.

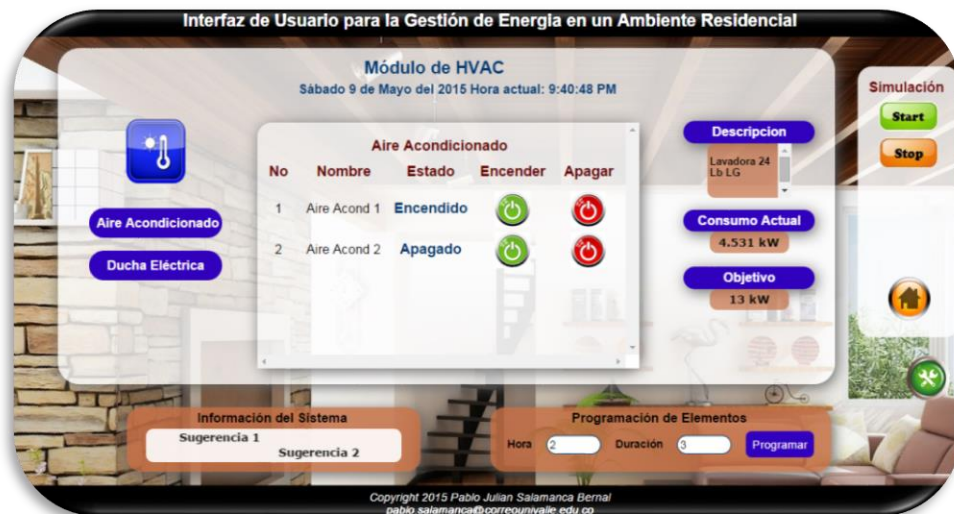


Ilustración 3-20: Módulo de HVAC.

En la figura 3-21 se aprecian los módulos de Elementos de Cocina y Seguridad.

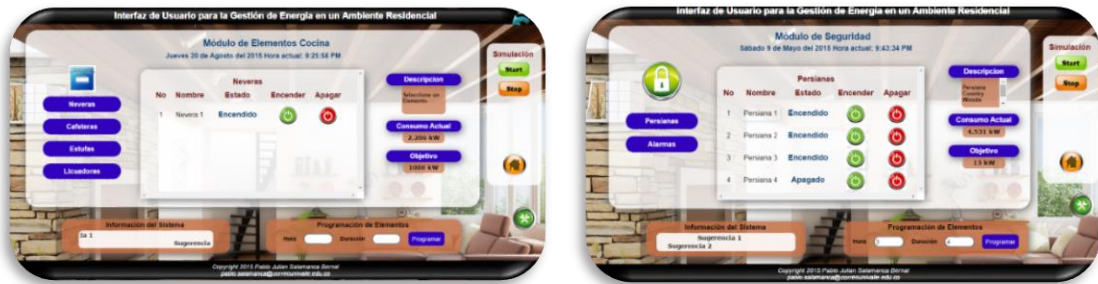


Ilustración 3-21: Módulos de Elementos de Cocina y Seguridad.

3.3.5.6. Módulo de fuentes de energía renovable.

En la ilustración 3-22 se aprecia el Módulo de Fuentes de Energía Renovables el cual cuenta con un panel solar y un aerogenerador. La información de generación de estos elementos ha sido almacenada en la base de datos de forma estática y es consultada cada hora respectivamente de acuerdo a las configuraciones que el usuario realice. En la parte izquierda en lugar de tener una zona de tipos de elementos se ha agregado un espacio para indicar las características principales de los elementos. Las demás secciones empleadas para los otros módulos se ejecutan de igual manera a excepción del recuadro de programación que ha sido suprimido debido a que esta propiedad no está disponible para las fuentes de energía renovable.

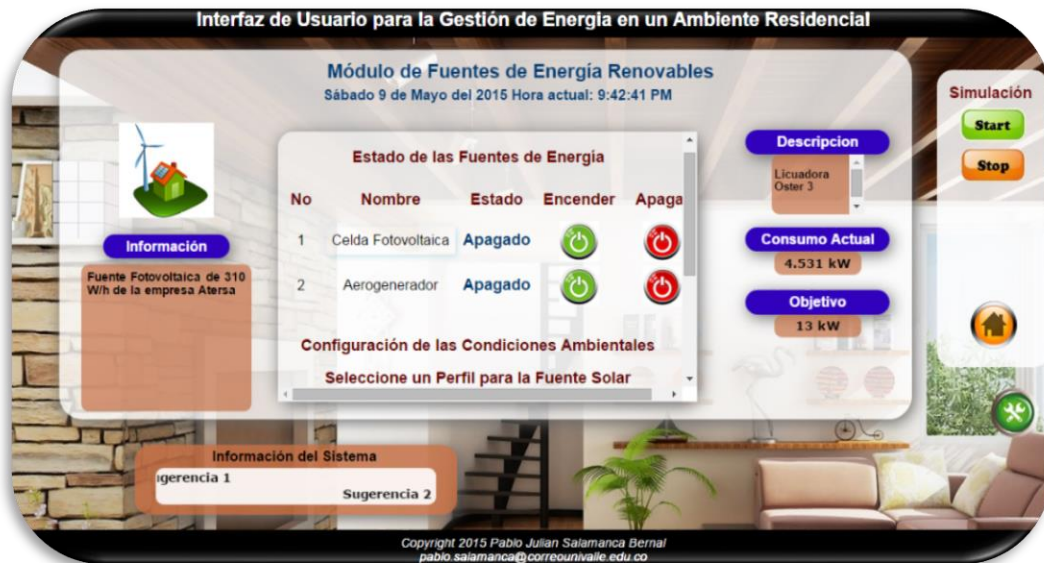


Ilustración 3-22: Módulo de Fuentes de Energía.

Otra característica importante en el módulo de fuentes de energía renovable es la posibilidad de configurar las condiciones ambientales (figura 3-23) que desea simular para los dispositivos de generación. Estos perfiles de generación serán descritos en la sección 4.2.2 relacionada con la simulación de las fuentes de energía renovable.



Ilustración 3-23: Configuración de las Condiciones Ambientales.

3.3.5.7. Módulo de información.

Finalmente se presenta el módulo de Información el cual condensa y representa toda la información relacionada a la aplicación y al comportamiento que el usuario ha desarrollado en un periodo de tiempo determinado. En la figura 3-24 se aprecian las características estructurales, manteniendo las seis zonas descritas para los módulos anteriores a diferencia del recuadro de programación que ha sido sustituido por uno que presenta la Tarifa Actual y el Costo Actual de un kiloWatt hora [kW/h].

La zona de tipos de elementos contiene en este caso los tipos de gráficas que desea visualizar en la sección central de la pantalla. Esta selección se puede realizar en dos aspectos, el primero correspondiente al intervalo de tiempo (diario, semanal y mensual) y el segundo relacionado a la característica de la grafica (generación, almacenamiento o consumo). De esta forma se presenta de manera amplia la información al usuario para facilitar el análisis de su comportamiento y la futura toma de decisiones. En la zona derecha se ha adicionado en la parte inferior un botón de color rojo para la generación de un reporte que le permite al usuario exportar la información almacenada en la base de datos en un archivo de extensión txt de nombre “reporte.txt”, el cual es almacenado en la misma carpeta de la aplicación.



Ilustración 3-24: Módulo de Información.

Otra característica adicional en el módulo de Información es la posibilidad de conocer el comportamiento del precio seleccionando un día del mes de Junio del 2014. Para visualizar la información se debe ingresar la fecha en el campo de texto y enviar la orden mediante el botón Enviar ubicado en la zona inferior izquierda y el comportamiento del precio es graficado en la zona central de la pantalla como se observa a modo de ejemplo en la ilustración 3-24.

3.3.5.8. Sección de simulación.

Una vez iniciada la simulación de los perfiles de usuario mediante el botón “**Start**” (Color Verde) en la zona de simulación (figura 3-25) se bloquea el sistema para evitar cualquier operación manual de la aplicación para garantizar la igualdad de condiciones en los procesos de simulación. Esto evita además la distorsión de los resultados cuando son cargados los perfiles de usuario en la aplicación.



Ilustración 3-25: Simulación de perfiles de usuario.

Cuando la simulación inicia es cargada la información de los perfiles de usuario en el sistema e inicia la cuenta del intervalo de tiempo desde el Domingo primero de Junio del 2014 hasta el Lunes 30 de Junio, la visualización de esta información se aprecia en la ilustración 3-26. Cuando se desee interrumpir la simulación se debe accionar el botón “**Stop**” (Color Naranja) y la sección de Simulación se recargará indicando mediante un aviso que la simulación ha sido detenida. La condición de funcionamiento de la simulación ha sido programada para evitar errores accidentales por lo tanto cuando se desee accionar nuevamente el botón “**Start**” y la simulación ya se encuentre corriendo se le indicará al usuario mediante un aviso que el procedimiento es incorrecto (figura 3-26), esto con el objetivo de evitar paralelismo en la ejecución de la simulación e interferencia con el proceso actual.

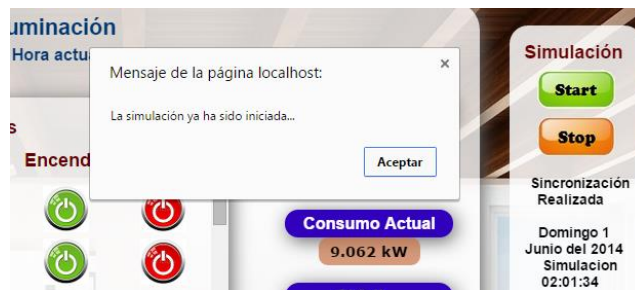


Ilustración 3-26: Condición de funcionamiento para la simulación de perfiles de usuario.

Estos mensajes son una característica de JavaScript que permite informar al usuario en cualquier momento sobre un suceso en la aplicación, facilitando en gran medida la interacción con el usuario. Un ejemplo de ello es la implementación de un mensaje para verificar la selección de un tipo de periodo de tiempo en el módulo de información cuando se desea realizar la visualización de los datos en la grafica de la zona central (figura 3-27). Finalmente se debe tener presente que si el usuario desea ingresar a otro módulo debe dirigirse al Menú Principal mediante el botón de color naranja con icono en forma de casa ubicado en la parte inferior de la zona de Simulación.

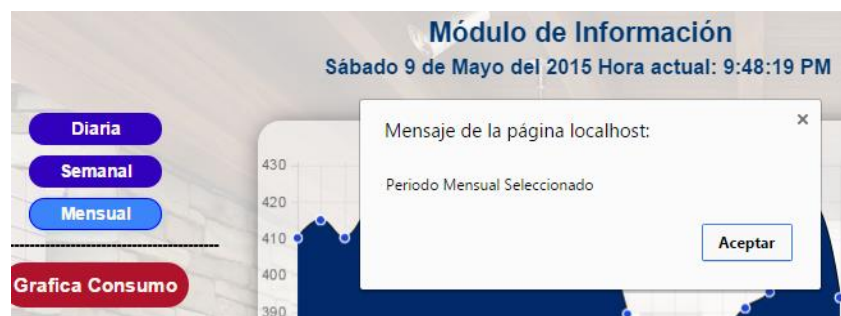


Ilustración 3-27: Mensaje de interacción con el usuario.

3.3.6. Estrategias de gestión en la interfaz de usuario.

Para describir el sistema de control se debe tener presente las opciones de funcionamiento que el sistema posee y los mecanismos que el usuario tiene para activar el sistema de gestión que se encuentra en el módulo de configuración. Para ingresar a esta sección el usuario debe accionar el botón verde ubicado en la parte inferior derecha de todos los módulos y se desplegará la ventana mostrada en la figura 3-28. En ella se puede observar en la zona izquierda el tipo de gestión (Gestión por Objetivo-Gestión por Prioridades) que desea el usuario configurar en la herramienta software y un menú adicional de “Soporte Técnico” que contiene información relevante sobre el manejo del software; se tiene a su vez una opción para seleccionar un día en el intervalo de tiempo de simulación para generar y visualizar la programación que realiza el HEMS de los elementos con prioridad automática y semi-automática.



Ilustración 3-28: Módulo de Configuración del Sistema de Gestión.

En la zona central se puede apreciar las opciones de configuración (figura 3-28) relacionadas con las estrategias de gestión implementadas en la herramienta software. Para la tarifa variable existe la opción de seleccionar entre tarifa General, Nocturna y Básica (tarifa plana) lo que permite determinar una variación en el costo total.

3.3.6.1. Control de Objetivo y Sugerencias.

Los elementos asociados a la estrategia de gestión por objetivo son las luminarias y los sistemas de aires acondicionados como se indica en la figura 3-30. El usuario puede definir su funcionamiento como on-off para darle al sistema la autoridad de apagarlos dependiendo de la información de consumo actual o por el contrario en el modo de

sugerencias, en el cual el HEMS le informa si se encuentra fuera del límite de consumo mediante un mensaje dinámico en la parte inferior. El HEMS le indica al usuario qué opciones debe considerar para ajustarse nuevamente a los parámetros de consumo. Antes de modificar las opciones de esta estrategia de control debe seleccionar el radiobutton correspondiente en la segunda columna como se indica en la figura 3-29.

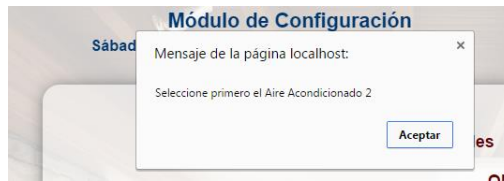


Ilustración 3-29: Condiciones de funcionamiento para el sistema de gestión por objetivo.



Ilustración 3-30: Opciones de Configuración del Sistema de Gestión por Objetivo

Las funciones asociadas al control por objetivo se ejecutan de forma horaria. Estas funciones toman como insumo el objetivo ingresado por el usuario en el modulo de configuración (figura 3-31) y la información asociada al consumo actual para posteriormente ejecutar el algoritmo de gestión y definir los dispositivos a intervenir.



Ilustración 3-31: Ingreso del objetivo para el sistema de gestión

3.3.6.2. Control de Prioridades.

El sistema de tarifa variable le otorga al software la información de costos de forma horaria para los días de ejecución de la simulación. Con estos datos el HEMS establece la ejecución de las actividades que han sido configuradas como automáticas o semiautomáticas. Como ejemplo en la figura 3-32 se indica el resultado de la programación que el HEMS realiza para el 6 de Junio del 2014. El precio de la tarifa variable para ese día se indica en la figura 3-33. El HEMS recorre todo el vector de precios para las 24 horas y selecciona los valores mínimos de costo; posteriormente asigna estas horas a la ejecución de las aplicaciones que se encuentran disponibles para programación.

Programacion Generada	
Actividad Programada	Hora De Ejecución
Lavadora	16
Secadora	17
Lavavajillas	18
Aspiradora	19
Plancha	20

Ilustración 3-32: Ejemplo de la programación generada por control de precio.

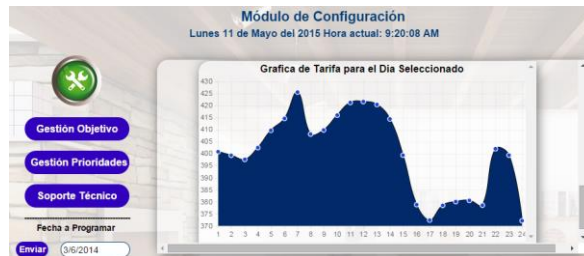


Ilustración 3-33: Precios de la tarifa variable para el ejemplo indicado en el control de precios.

3.4. BASE DE DATOS.

El almacenamiento, organización y manipulación de información de la herramienta software se realiza en el servidor de base de datos MySQL integrado en el software XAMPP. Este puede entablar comunicación con la interfaz de usuario y la aplicación en java que simula los perfiles de usuario. Esta comunicación se realiza mediante funciones del lenguaje PHP que capturan la información de las variables a través del método POST para procesarlas y actualizar los registros de la base de datos. El procesamiento de la información se realiza principalmente en los archivos PHP (HEMS) debido a las prestaciones a nivel de velocidad que brinda este lenguaje comparado con JavaScript.

En la parte izquierda de la figura 3-34 se aprecia la interfaz de usuario phpMyAdmin integrada también en el software XAMPP la cual permite borrar, editar y añadir campos de forma manual facilitando la creación y modificación de registros en las tablas que componen la base de datos, esta gestión de información puede ser ejecutada a través de sentencias SQL o mediante la plataforma web. La versión utilizada fue el phpMyAdmin 3.5.2.2. Por su parte en la zona derecha se aprecia el panel de control de la plataforma XAMPP que permite la ejecución de los servidores Apache y MySQL.

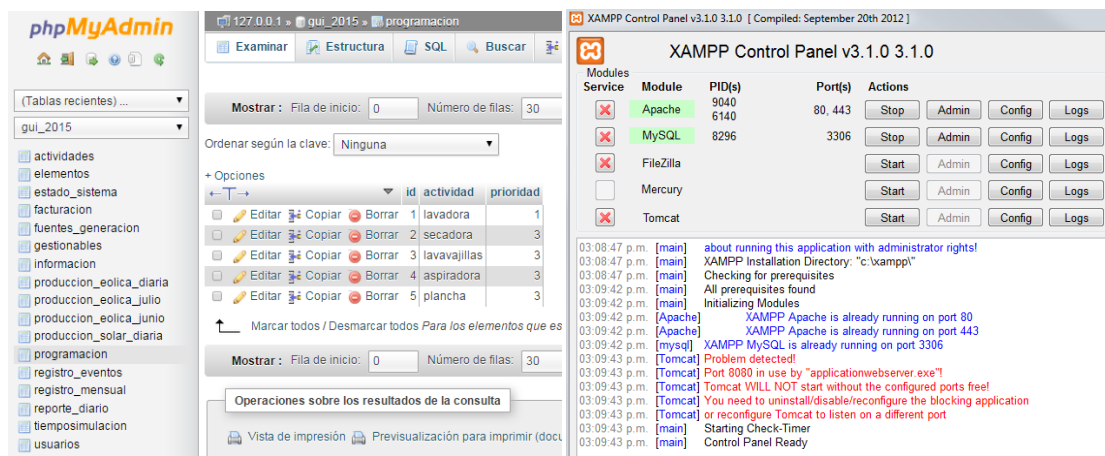


Ilustración 3-34: Base de datos en phpMyAdmin y panel de control XAMPP.

La base de datos fue estructurada en 5 componentes como se apreciaba en la tabla 3-2:

1. Inicialmente las tablas relacionadas a las fuentes de energía renovables, cuyos campos contienen toda la información sobre el estado y los perfiles de producción de energía eléctrica.
2. En segundo lugar se encuentran los registros que pertenecen al proceso de control y monitoreo PCD (Process Control Database).
3. Continúa con las tablas relacionadas con la información económica EID (Economic Information Database) las cuales contienen la adaptación de la tarifa variable y los datos de consumo actuales.
4. La cuarta clasificación corresponde a las tablas del sistema de gestión MSD (Management System Database), que son parte esencial para la implementación del algoritmo de control.
5. Finalmente se estipulan las tablas relacionadas con la simulación del sistema que poseen la información de las actividades en el hogar y el tiempo de inicio de la simulación.

En la tabla 3-2 se presenta la base de datos, la cual se desarrolla en una estructura de tablas, cada tabla está integrada por registros (filas) y campos (columnas) que permiten almacenar de forma ordenada la información de las variables. La aplicación desarrollada cuenta con 18 tablas clasificadas en 5 tipos de bases de datos a partir de la relación que presentan con la interfaz.

Tabla 3-2: Estructura de la base de datos.

DER	Atributos Tabla							
fuentes_generacion	id	estado_solar	perfil_solar	estado_eolica	perfil_eolica			
produccion_eolica_diaria	dia	vel_junio	produccion_junio	vel_julio	produccion_julio			
produccion_solar_diaria	id	hora	mes	nublado	despejado	soleado		
produccion_eolica_junio	hora	dia	viento_calma	brisa_moderada	brisa_fresca	perfil1	perfil2	perfil3
produccion_eolica_julio	hora	dia	viento_calma	brisa_moderada	brisa_fresca	perfil1	perfil2	perfil3

PCD	Atributos Tabla						
reporte_diario	dia	hora	consumo	generacion	almacenamiento		
reporte_mensual	dia	semana	mes	consumo	generacion	almacenamiento	
elementos	id	modulo	tipo	potencia	consumo	label	descripcion

EID	Atributos Tabla				
facturacion	tipo	mes	dia	hora	precio
informacion	id	consumo_actual	costo_actual	target	target_dia

MSD	Atributos Tabla							
usuarios	id	nombre	apellido	mail	add	pass		
gestionables	id	elemento	estado					
programacion	id	actividad	prioridad					
registro_eventos	id	id_elementos	id_usuarios	dia	mes	hora_evento	estado	duracion
copia_seguridad	id	id_elementos	id_usuarios	dia	mes	hora_evento	estado	duracion
estado_sistema	id	label	hora	min	seg	estado		

Simulacion	Atributos Tabla						
actividades	id	actividad	personas	p1	p2	p3	p4
tiemposimulacion	id	estado	hora	min	seg		

Debido al proceso de simulación gran parte de los datos utilizados por la aplicación son fijos y han sido asignados a los registros de las tablas de forma manual. Por tal motivo la relación funcional entre las tablas se presenta principalmente entre una identificación asignada a los elementos eléctricos y el usuario que ha ingresado a la aplicación quien modifica principalmente la tabla de registro_de_eventos la cual almacena el comportamiento de los usuarios a lo largo del día. La relación estipulada es de uno a muchos como se indica en la figura 3-35, debido a que los usuarios pueden disponer de todos los elementos al interior del hogar y generarles cambios de estado.

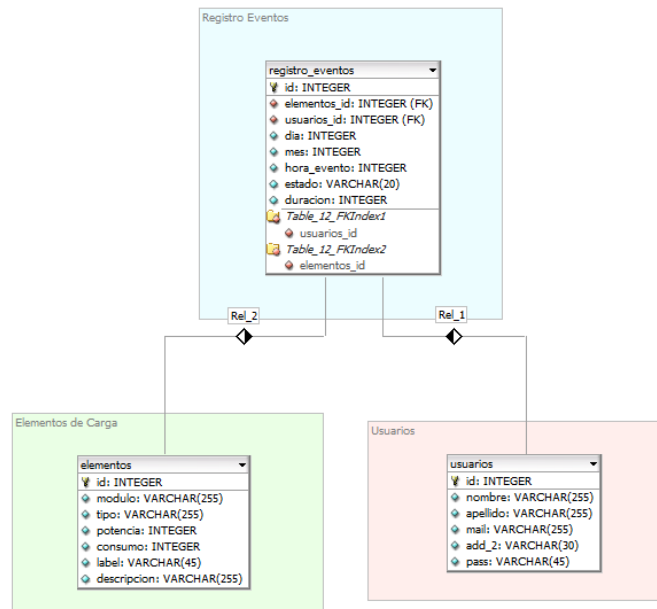


Ilustración 3-35: Modelo relacional de la base de datos.

Existe otra relación funcional (figura 3-36) presente entre la información recolectada diariamente por el sistema y el reporte que se genera a petición del usuario. En este caso el día es utilizado como la llave primaria de la relación.

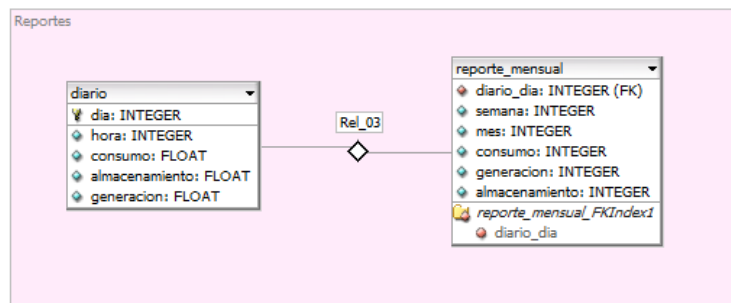


Ilustración 3-36: Relación en tablas de reporte.

3.5. HARDWARE UTILIZADO.

A nivel de hardware se empleó un computador portátil Samsung NoteBook con sistema operativo windows 7 en el cual se instaló el paquete ofrecido por el software XAMPP para la implementación del servidor Apache version 2.4.3. El usuario cliente se ejecutó en el mismo ordenador utilizando el navegador web Google Chrome version 40.0.2214. Los requerimientos solicitados a nivel de hardware son relativamente bajos debido a la ausencia del proceso de adquisición de información externa al computador, el ordenador utilizado actuará como cliente-servidor al mismo tiempo facilitando el proceso de comunicación.

3.6. CONCLUSIONES

Partiendo de la revisión bibliográfica consignada en el marco teórico sobre los sistemas de gestión en ambientes residenciales se ha diseñado una propuesta para implementar un HEMS mediante una herramienta software y una interfaz de usuario. La solución propuesta gira en torno a cuatro componentes (interfaz de usuario, HEMS, base de datos y escenario residencial).

En la sección del HEMS se plantearon los algoritmos de control que gobiernan la ejecución de dos estrategias de control, la primera relacionada con un objetivo de consumo estipulado por el usuario y la segunda basada en prioridades de ejecución para determinar el desplazamiento del encendido de cinco electrodomésticos.

Para la interfaz de usuario se realizó la presentación de toda la documentación que soporta su construcción y los pasos para que el usuario pueda relacionarse con la interfaz grafica y configurar el sistema de gestión. Finalmente se presentó la estructura de la base de datos construida y el hardware empleado para la implementación del sistema.

4. Capítulo

PRUEBAS

Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas a la herramienta software desarrollada, inicialmente la simulación del escenario propuesto detallando el proceso de simulación de las cargas, la tarifa variable, y los dispositivos de generación, esto con el objetivo de comprender el proceso de almacenamiento de información en la base de datos, generando a su vez una diversidad de escenarios que permiten la obtención de criterios de comparación al momento de analizar los resultados. Posteriormente se definieron y ejecutaron los protocolos de pruebas para verificar el funcionamiento de la interfaz grafica, la simulación del sistema y las estrategias de control. Los resultados generales fueron obtenidos al comparar las respuestas de los diferentes escenarios respecto al consumo estándar de los hábitos de consumo simulados.

4.1. ESCENARIO RESIDENCIAL PROPUESTO

La simulación del escenario residencial fue abordada en tres etapas: la primera corresponde a la simulación de una serie de cargas eléctricas en un espacio físico, la segunda está relacionada con la simulación de las fuentes de energía renovable, y la tercera corresponde a la simulación de la tarifa variable, el cual es un aspecto esencial en los sistemas de gestión.

4.1.1. Simulación del escenario residencial.

Para la simulación del escenario residencial fue necesario caracterizar un espacio físico y las cargas utilizadas en el sistema. A partir de esta información fue desarrollada una herramienta de software adicional en lenguaje Java que permite configurar el escenario de simulación, el software utilizado para el desarrollo fue NetBeans IDE versión 7.4.

4.1.1.1. Caracterización del espacio físico.

Las características espaciales del ambiente residencial fueron seleccionadas de acuerdo al número de personas que integran una familia tradicional Colombiana, información que fue adquirida mediante el informe del censo general del año 2005 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, el cual indica que una familia promedio en Colombia está constituida por 4 integrantes. Para el presente proyecto se determinó la presencia de los padres y dos hijos al interior del hogar. Los padres contarán con una habitación principal y a los hijos se les asignarán una habitación para cada uno. Se seleccionó a su vez un plano de un apartamento modelo en el cual se realizó la distribución de los dispositivos de uso frecuente en los hogares colombianos.



Ilustración 4-1: Distribución de las Luminarias en el escenario residencial seleccionado.

Debido a la diversidad de escenarios climáticos en el territorio colombiano se tomó como criterio los elementos expuestos en el documento “Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia” presentado por la UPME en marzo del 2008 [UPME 2008]. Con ello se determinaron las variables que formarán parte del sistema de gestión y la cantidad de elementos presentes en el apartamento modelo. Los planos del apartamento modelo empleado pertenecen a una constructora de origen Español la cual permite su utilización para usos académicos. El apartamento modelo está compuesto de 3 habitaciones, sala, comedor, cocina, cuarto de servicio, 2 baños, y una zona de jardín, en la figura 4-1 se aprecia la distribución de las luminarias en el espacio físico.

El apartamento modelo posee un espacio común para el comedor y la sala, la habitación principal asignada a los padres cuenta con un baño privado, línea telefónica y emplea un tubo fluorescente para la iluminación. La zona de jardín por su parte cuenta con 2 luminarias de tipo fluorescente. El segundo baño se encuentra en la zona central del apartamento y es de uso compartido. En la cocina se incluye electrodomésticos como estufa, nevera, lavavajillas y en una zona contigua se encuentra el cuarto de servicio en el cual se incluye la lavadora, secadora y aspiradora, la distribución de los dispositivos eléctricos se presenta en la figura 4-2.

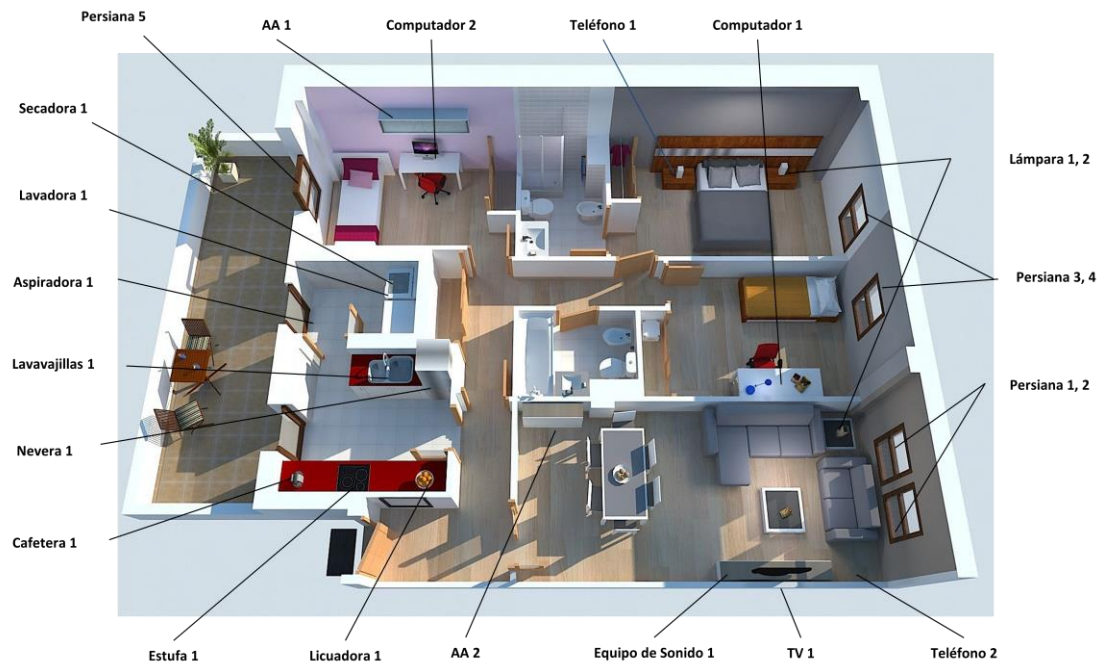


Ilustración 4-2: Distribución de dispositivos eléctricos en el escenario residencial seleccionado.

4.1.1.2. Caracterización de las cargas.

Las cargas distribuidas en el apartamento modelo fueron clasificadas y asociadas de acuerdo a sus características en seis módulos tal como se indica en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Elementos y módulos del sistema.

Clasificación por Módulos					
Módulo	Tipo de Elementos	No	Modulo	Tipo de Elementos	No
1. Iluminación	Iluminaria Fluorescente	12	4. Entretenimiento	TV	1
	Tuvo Fluorescente	2		Telefono	2
	Lampara Fluorescente	2		PC	2
2. HVAC	AA	2		Equipo de Sonido	1
	Ducha Eléctrica	1	5. Elementos Cocina	Cafetera	1
3. Electrodomésticos	Lavadora	1		Estufa	1
	Secadora	1		Licuadaora	1
	Lavaplatos	1		Nevera	1
	Aspiradora	1	6. Seguridad	Persianas	5
	Plancha	1		Alarma	1

Se dejaron módulos con una sola carga por cada tipo de elemento, con el objetivo de contar con una muestra representativa de estos dispositivos y permitir un margen de control amplio en el sistema gestión. Se intentó acoplar las características reales de los elementos de consumo al sistema utilizando información suministrada por empresas del sector como Codensa S.A ESP³ dedicada a la comercialización y distribución de energía eléctrica en Colombia, y Edenor⁴ es la mayor distribuidora de energía eléctrica en Argentina.

Esta información fue condensada en la tabla 4-2 indicando el total de cargas utilizadas (40) y las principales características de consumo de los artefactos eléctricos. Algunos de ellos presentan una variación entre la potencia nominal expresada por el fabricante y el consumo de energía por hora de funcionamiento, debido al comportamiento que presentan los elementos cuando se alcanza su estado estable en el transcurso del tiempo.

³ <https://www.codensa.com.co>

⁴ <http://www.edenor.com.ar/cms/subsolapa3.html>

Tabla 4-2: Consumo de los elementos del apartamento modelo.

Dispositivo	Cantidad	Potencia W	W/h	Total
Luminaria Fluorescente	12	20	20	240
Tubo Fluorescente	2	40	50	80
PC	2	300	720	600
AA	2	1350	1013	2700
Lámpara Fluorescente	2	15	15	30
Teléfono	2	25	25	50
Ducha Eléctrica	1	1200	1200	1200
TV 29"	2	140	140	280
Equipo de Sonido	1	60	60	60
Persianas	4	15	15	60
Alarma	1	20	20	20
Plancha	1	1000	600	1000
Lavadora	1	520	182	520
Secadora	1	240	240	240
Aspiradora	1	750	675	750
Nevera	1	180	90	180
Lavavajillas	1	1200	1200	1200
Cafetera	1	900	720	900
Estufa Eléctrica 4 Hornillas	1	2500	2500	2500
Licuada	1	300	300	300
Total	40			12910

4.1.1.3. Simulación de presencia.

Generalizar el comportamiento y el consumo de un número de personas al interior de un ambiente residencial es de gran complejidad, ya que este tipo de información depende estrechamente de las condiciones de cada escenario. Los hábitos de consumo de una familia están ligados a distintas variables como por ejemplo el número de personas que habitan en la vivienda, el estrato socioeconómico donde esté ubicada la residencia, en el caso de Colombia la región del país, el entorno social, si se encuentran localizados en una zona urbana o rural y sobre todo, el tipo de dispositivos tecnológicos utilizados; para determinar estas características en el apartamento modelo se concibió una serie de tareas básicas a lo largo del día para una familia compuesta por cuatro integrantes.

Tabla 4-3: Actividades propuestas al interior del ambiente residencial.

Actividades Generales					
Actividad	Personas	P1	P2	P3	P4
Alistarse para salir	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
Desayuno	4	Comedor	Comedor	Comedor	Comedor
Presencia una persona	1	NP	Cuarto Servicio	NP	NP
Presencia una persona	1	NP	Sala	NP	NP
Aseo y Cocinando	1	NP	Cocina	NP	NP
Aseo y Cocinando	1	NP	Cocina	NP	NP
Almuerzo	4	Comedor	Comedor	Comedor	Comedor
Descanso Familiar	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
Aseo	3	NP	Cuarto Servicio	Habitacion 1	Habitacion 2
Presencia de niños	2	NP	NP	Sala	Sala
Presencia de niños	2	NP	NP	Sala	Sala
Cocinando	3	NP	Cocina	Sala	Sala
Cocinando y Cena	4	Comedor	Comedor	Comedor	Comedor
Espacio de TV	4	Sala	Sala	Sala	Sala
Espacio de TV	4	Sala	Sala	Sala	Sala
Aseo	4	Habitacion Principal	Cuarto Servicio	Sala	Sala
Trabajo Padres	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
Lectura	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
Descanso Familiar	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2
	4	Habitacion Principal	Habitacion Principal	Habitacion 1	Habitacion 2

La dinámica de la familia expresada en actividades horarias se observa en la tabla 4-3 bajo los siguientes supuestos:

- El padre posee una jornada laboral de 8 horas y se encuentra ausente la mayor parte del día.
- La madre en la mañana realiza la mayoría de las tareas del hogar mientras los hijos realizan actividades académicas.
- Se individualiza cada integrante para señalar si se encuentra en ese momento en la vivienda y el lugar donde se encuentra, simulando así una red de sensores de presencia.
- La ausencia de un integrante de la familia se denota con NP (No Presente).

Estas características le permitirán al sistema de control tomar decisiones sobre apagado automático de los dispositivos o luminarias no utilizadas por la familia.

4.1.1.4. Diseño de los perfiles de consumo.

Para la simulación de los dispositivos se determinaron tres perfiles de usuario con características diferentes. El consumo del perfil uno se utiliza de referencia para los dos siguientes debido a que este presenta un consumo básico; por su parte, el perfil dos presenta un comportamiento de ahorro mientras que el perfil tres presenta un incremento sustancial en el consumo de energía. Los tres perfiles fueron recreados para cada elemento del sistema, en la tabla 4-4 se indica un ejemplo para el perfil 3 de los dispositivos de entretenimiento, la totalidad de las tablas se pueden consultar en el archivo “Perfiles de Usuario.xlsx”.

Tabla 4-4: Muestra de Perfiles de Usuario, módulo de Entretenimiento.

Perfil 3								
Perfil de Consumo Modulo de Entretenimiento								
Hora	Televisores		Computadores		Equipo Sonido	Telefonos		Actividad
	TV Hab	TV Sala	PC 1	PC 2	Equipo Sala	Telefono Hab	Telefono Sala	
06:00 - 07:00								Alistarse para salir
07:00 - 08:00								Alistarse para salir
08:00 - 09:00								Desayuno
09:00 - 10:00								Presencia una persona
10:00 - 11:00								Aseo y Cocinando
11:00 - 12:00								Aseo y Cocinando
12:00 - 13:00								Almuerzo
13:00 - 14:00								Descanso Familiar
14:00 - 15:00								Aseo
15:00 - 16:00								Presencia de niños
16:00 - 17:00								Presencia de niños
17:00 - 18:00								Cocinando
18:00 - 19:00								Cocinando y Cena
19:00 - 20:00								Espacio de TV
20:00 - 21:00								Espacio de TV
21:00 - 22:00								Aseo
22:00 - 23:00								Trabajo Padres
23:00 - 00:00								Lectura
00:00 - 01:00								Descanso Familiar
01:00 - 02:00								
02:00 - 03:00								
03:00 - 04:00								
04:00 - 05:00								
05:00 - 06:00								
Total Horas	5	8	3	7	5	1	2	

Los perfiles de usuarios intentan seguir las actividades especificadas para los integrantes del hogar y el uso de las diferentes cargas relacionadas con estas acciones, adicionalmente se considera que al accionar una carga, ésta permanece encendida durante una hora, lo cual facilita el procesamiento de información.

4.1.1.5. Software para simulación de las cargas y los perfiles de consumo.

La simulación de los perfiles de consumo fue desarrollada por medio de una aplicación java que inicialmente solicita información de ingreso al administrador para verificar los privilegios que posee. Una vez los datos son corroborados inicia la ventana de configuración de hábitos de consumo como se aprecia en la figura 4-3 en la cual es posible seleccionar entre los tres perfiles previamente predefinidos (Perfil 1: Consumo normal, Perfil 2: Bajo consumo, Perfil 3: Consumo elevado). Las características de estos perfiles se pueden apreciar ingresando a la pestaña de cada perfil en la zona superior. En esta ventana se puede a su vez configurar las actividades de los integrantes de la familia diligenciando los espacios y oprimiendo el botón “Cargar Actividades”.

Actividad	NO Per	Persona 1	Persona 2
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>

Ilustración 4-3: Configuración del simulador de perfiles de usuario.

En las páginas de los perfiles de consumo se podrá apreciar los comportamientos supuestos para cada dispositivo en el transcurso del día (figura 4-4). Si el administrador desea crear sus propios perfiles deberá ingresar a cada página que representan los módulos del sistema y diligenciar las casillas que simboliza las horas de utilización de cada elemento como se observa en la figura 4-5. Una vez activado o desactivado cada elemento en una hora determinada se carga la información en la base de datos mediante el botón “Cargar Perfil” ubicado en la parte inferior de cada página. El algoritmo de control de esta aplicación y las funciones para la comunicación con la base de datos son presentados en el Anexo 7.3.

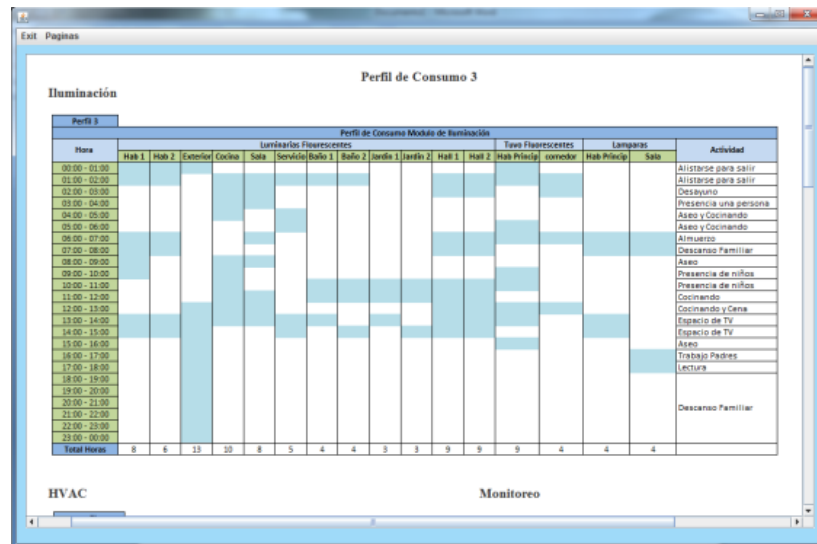


Ilustración 4-4: Página de perfiles.

The screenshot shows a window titled 'Ingreso de Perfil para Electrodomesticos'. It contains a table for entering appliance usage profiles. The table has columns for 'Hora', 'Lavadora', 'Secadora', 'Lavavajillas', 'Aspiradora', and 'Actividad'. The 'Actividad' column contains text input fields for each hour.

Hora	Lavadora	Secadora	Lavavajillas	Aspiradora	Actividad
00:00 - 01:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
01:00 - 02:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02:00 - 03:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
03:00 - 04:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04:00 - 05:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
05:00 - 06:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
06:00 - 07:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
07:00 - 08:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
08:00 - 09:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
09:00 - 10:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10:00 - 11:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11:00 - 12:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12:00 - 13:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13:00 - 14:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14:00 - 15:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Ilustración 4-5: Gestor de perfiles.

4.1.2. Simulación de las fuentes de energía renovables.

El escenario residencial cuenta con dos tipos de fuentes de energía renovable: la primera utiliza paneles solares conectados a un sistema de almacenamiento, y la segunda está basada en un aerogenerador. Las simulaciones de estos elementos son presentadas a continuación.

4.1.2.1. Simulación Aerogenerador.

En el proceso de generación eólica a pequeña escala la variable principal a considerar es la velocidad del viento de la zona donde se realizará la implementación y puesta en servicio del sistema. Para ello se desarrolló una investigación sobre los rangos de velocidades del viento en Colombia, y se determinó que las mejores condiciones para un escenario de generación eólica es el departamento de la Guajira en la zona norte del país; por lo tanto se utilizó la información disponible para el mes de Junio del 2014 de la estación meteorológica Alfonso Padilla ubicada en la ciudad de Riohacha tabla 4-5.

Tabla 4-5: Velocidades del viento Riohacha Colombia⁵.

Velocidad Promedio del Viento en Junio y Julio del 2014 [m/s]					
Día	Junio	Día	Junio	Día	Junio
1	6,083	11	7,306	21	7,361
2	5,833	12	8,222	22	8,639
3	6,222	13	7,361	23	7,833
4	6,333	14	7,861	24	8,222
5	6,750	15	8,139	25	7,417
6	5,806	16	7,056	26	7,417
7	7,472	17	7,833	27	7,833
8	5,972	18	7,000	28	7,194
9	6,528	19	6,750	29	7,861
10	7,111	20	5,806	30	7,917

Los generadores eólicos producen una determinada cantidad de energía dependiendo de las condiciones del viento, Para delimitar el funcionamiento del aerogenerador eólico simulado se seleccionaron tres perfiles de ejecución como se indica en la figura 4-6, estos perfiles fueron determinados siguiendo las recomendaciones del fabricante del aerogenerador (Ver Anexo 8.2).



Ilustración 4-6: Perfiles del viento para la generación eólica.

El generador eólico utilizado como referencia para la simulación es producido por la empresa Bornay⁶. Esta compañía cuenta con más de 6000 instalaciones alrededor de 50 países, presenta en su portafolio de productos el Aerogenerador Bornay 600, utilizado para infraestructura de conexión tanto aislada como conectada a la red.

⁵ Fuente: http://www.tutiempo.net/tiempo/Riohacha_Almirante_Padilla/SKRH.htm?datos=por-horas

⁶ Fuente: <http://www.bornay.com/es>

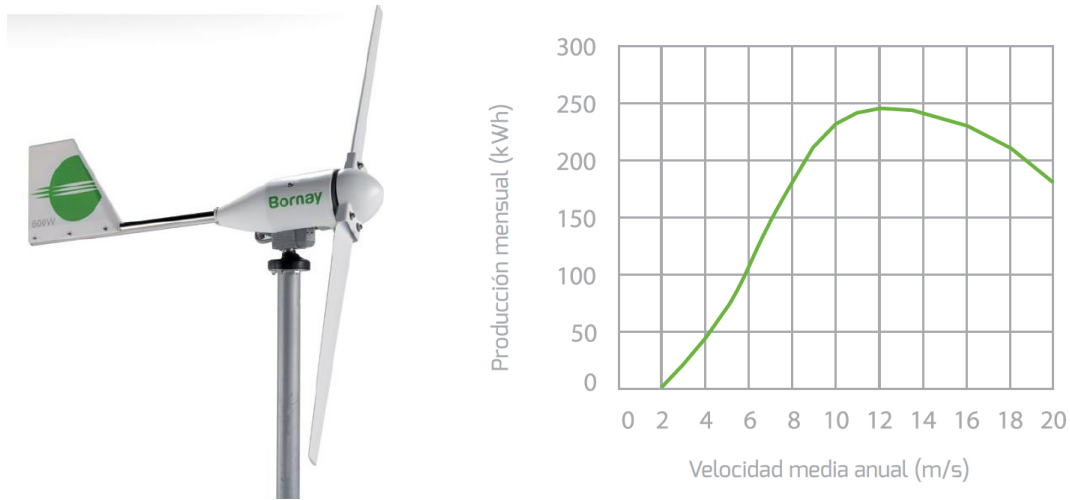


Ilustración 4-7: Aerogenerador Bornay 600 y producción mensual de energía.

Para la simulación del aerogenerador se realizó una interpolación de los datos representados en la gráfica de producción mensual ofrecida por el fabricante del aerogenerador (figura 4-7), y se extrajeron 21 datos para simular una variación del viento de 0.5 m/s. Utilizando el software matemático MatLab® se determinó una función de sexto grado expresada en la ecuación 1 (Ec 1) que permite describir el comportamiento de la curva de generación para velocidades del viento entre de 2 m/s y 12 m/s.

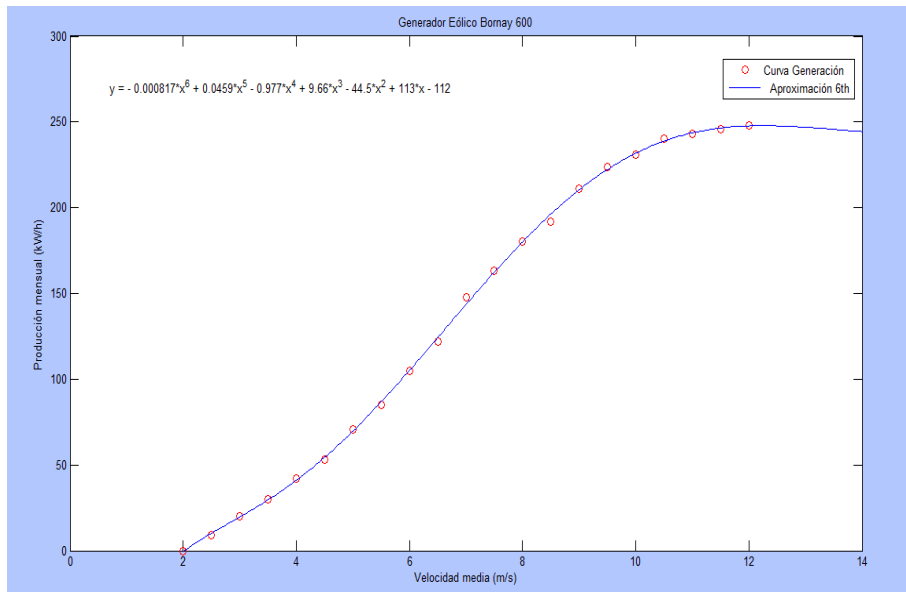


Ilustración 4-8: Interpolación de la grafica de producción del aerogenerador Bornay 600.

$$0.000817x^6 + 0.0455x^5 - 0.977x^4 + 9.66x^3 - 44.5x^2 + 113x - 112 \quad (Ec\ 1)$$

En la tabla 4-6 se presentan los resultados de aplicar la ecuación 1 para un valor aleatorio dentro del rango de vientos de cada perfil definido, con el objetivo de simular la variación del viento en cada intervalo.

Tabla 4-6: Producción eólica simulada para el primero de Junio del 2014.

Produccion Eolica						
Fecha	01/06/14	Promedio Dia	6.083	Produccion Vel Promedio		3.6081
Hora	Viento en Calma	Brisa Moderada	Brisa Fresca	Producción Perfil1	Producción Perfil2	Producción Perfil3
1	2.12	4.40	8.90	0.0032	0.0716	0.2885
2	2.51	7.37	9.98	0.0143	0.2188	0.3214
3	2.82	5.63	8.30	0.0225	0.1269	0.2638
4	2.25	7.77	10.43	0.0071	0.2390	0.3305
5	2.22	7.08	10.43	0.0062	0.2036	0.3305
6	2.78	7.55	10.32	0.0215	0.2280	0.3285
7	2.81	4.74	8.53	0.0222	0.0854	0.2738
8	2.40	7.29	9.24	0.0113	0.2146	0.3005
9	2.17	4.87	7.83	0.0047	0.0910	0.2419
10	2.19	7.20	8.53	0.0053	0.2099	0.2738
11	2.79	3.59	9.65	0.0217	0.0438	0.3130
12	2.84	5.77	9.90	0.0230	0.1340	0.3195
13	2.66	4.81	10.37	0.0183	0.0884	0.3294
14	2.45	3.76	9.08	0.0127	0.0491	0.2950
15	2.44	5.82	9.74	0.0124	0.1366	0.3154
16	2.93	7.60	9.81	0.0254	0.2305	0.3172
17	2.17	5.33	9.79	0.0047	0.1121	0.3167
18	2.33	3.87	9.16	0.0094	0.0526	0.2978
19	2.48	3.13	9.56	0.0135	0.0307	0.3104
20	2.21	5.92	9.35	0.0059	0.1418	0.3040
21	2.80	6.32	8.23	0.0220	0.1629	0.2607
22	2.76	4.57	9.19	0.0209	0.0783	0.2988
23	2.26	7.31	8.08	0.0074	0.2157	0.2538
24	2.34	4.29	8.04	0.0097	0.0674	0.2520
Total Producción Diario				0.3255	3.2325	7.1367

4.1.2.2. Simulación Panel Solar.

Para determinar el comportamiento de un panel solar en ambientes residenciales sin profundizar en la complejidad y análisis de sus procesos y las posibles dificultades en sus implementaciones, se empleo información del grupo de investigación PSI de la Universidad del Valle, quienes han desarrollado proyectos relacionados con sistemas fotovoltaicos en Yumbo y Salvajina en el departamento del Valle del Cauca. El enfoque principal del presente trabajo es la estrategia de gestión y la interfaz de usuario para gestionar la vivienda, por tal motivo las características de una posible implementación no serán abordadas en el presente documento. La información suministrada corresponde a 10 días de lecturas en intervalos de 10 minutos, las cuales se consignan de forma resumida en la tabla 4-7.

Tabla 4-7: Resumen de información para la generación solar.

Generación Panel Solar Fotovoltaico [W]										
Hora	Panel Policristalino Yumbo				Amorfo		Monocristalino		Policristalino	
	01/01/2014	03/01/2014	09/01/2014	10/01/2014	01/06/2014	12/06/2014	01/06/2014	12/06/2014	01/06/2014	12/06/2014
6:00	132,00	29,00	54,00	20,00	25,07	27,98	28,64	32,73	26,56	30,42
7:00	784,00	834,00	727,00	348,00	162,32	180,85	185,11	212,02	175,07	186,64
8:00	1367,00	3647,00	1840,00	856,00	643,77	437,70	692,16	497,56	692,96	467,05
9:00	5636,00	4283,00	2640,00	1778,00	621,57	959,93	695,21	1026,01	668,42	1011,68
10:00	7293,00	6204,00	2723,00	3083,00	1079,79	1195,43	1162,04	1270,18	1165,20	1278,40
11:00	7846,00	7156,00	2041,00	3486,00	1104,14	1288,16	1173,50	1356,75	1176,13	1378,73
12:00	7328,00	7574,00	7177,00	4106,00	1068,25	1315,72	1148,63	1381,39	1129,39	1391,26
13:00	5867,00	7065,00	3625,00	5168,00	798,07	674,07	855,93	717,10	846,86	740,61
14:00	6171,00	3972,00	5411,00	2612,00	957,18	636,99	1002,27	690,28	1011,20	671,24
15:00	3685,00	3657,00	914,00	738,00	866,55	633,69	948,39	697,99	943,76	671,21
16:00	566,00	587,00	510,00	490,00	455,35	366,82	540,60	425,85	536,25	419,73
17:00	147,00	167,00	221,00	83,00	127,99	34,45	158,50	40,27	137,57	37,25
Total	46822,00	45175,00	27883,00	22768,00	7910,06	7751,77	8591,00	8348,14	8509,38	8284,21

A partir de esta información y de las cantidades de energía producidas se seleccionaron 6 días con características variables para construir tres perfiles de generación (despejado, soleado y nublado) que correspondieran hipotéticamente al mes de Junio del 2014. Esta variabilidad fue obtenida debido a la posición geográfica de las implementaciones (Yumbo y Salvajina) y a las tecnologías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos, como se observa en la tabla 4-7: celdas de tipo Amorfo, Monocristalino y Policristalino. En la tabla 4-8 se presenta los perfiles de generación considerados en la herramienta software incluyendo las fechas y lugares de donde proviene la información de este comportamiento. Es importante destacar que este ejercicio permite un acercamiento al escenario real de producción de energía en los hogares.

Tabla 4-8: Consideraciones para el diseño de perfiles de generación solar.

Simulación de Perfiles de Generación Solar						
Hora	Junio			Julio		
	Despejado	Soleado	Nublado	Despejado	Soleado	Nublado
	Yumbo	Yumbo	Mono.	Yumbo	Yumbo	Poli.
	09/01/2014	01/01/2014	01/06/2014	10/01/2014	03/01/2014	01/06/2014
6:00	54,00	132,00	28,64	20,00	29,00	26,56
7:00	727,00	784,00	185,11	348,00	834,00	175,07
8:00	1840,00	1367,00	692,16	856,00	3647,00	692,96
9:00	2640,00	5636,00	695,21	1778,00	4283,00	668,42
10:00	2723,00	7293,00	1162,04	3083,00	6204,00	1165,20
11:00	2041,00	7846,00	1173,50	3486,00	7156,00	1176,13
12:00	7177,00	7328,00	1148,63	4106,00	7574,00	1129,39
13:00	3625,00	5867,00	855,93	5168,00	7065,00	846,86
14:00	5411,00	6171,00	1002,27	2612,00	3972,00	1011,20
15:00	914,00	3685,00	948,39	738,00	3657,00	943,76
16:00	510,00	566,00	540,60	490,00	587,00	536,25
17:00	221,00	147,00	158,50	83,00	167,00	137,57
Total	27883,00	46822,00	8591,00	22768,00	45175,00	8509,38

En la figura 4-9 se observan los comportamientos de los perfiles generados e incluidos en la base de datos de la aplicación como perfiles de generación solar que facilitarán a futuro el desarrollo de los protocolos de pruebas y el análisis de los resultados en los escenarios diseñados para el sistema de gestión.

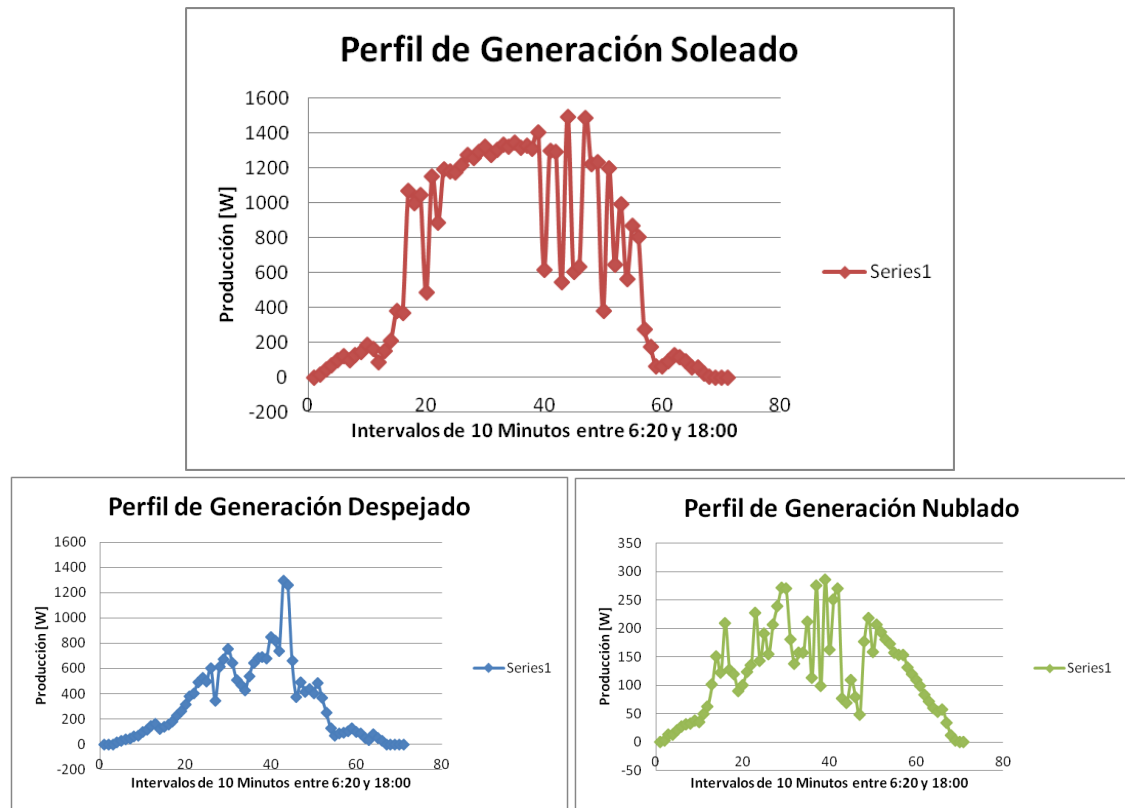


Ilustración 4-9: Perfiles de generación solar determinados.

4.1.3. Simulación de tarifa variable.

La discriminación por franjas horarias es un elemento que ya está siendo utilizado en varios países de Europa como un reconocimiento económico a los usuarios que eligen voluntariamente consumir energía en momentos determinados del día. En estos lapsos de tiempo el costo de la generación disminuye y este descenso se puede ver reflejado en la disminución del costo de tarifas a los usuarios. Esta variación puede ser originada por circunstancias externas como condiciones climáticas, el aumento de los insumos para generación, o por la presencia de valles de consumo por la baja demanda. Existen momentos por ejemplo en los que se alcanza un pico en la demanda de energía, elevando el nivel nominal de potencia y exigiendo la red eléctrica.

Uno de los objetivos fundamentales de los HEMS es la movilidad de algunas cargas hacia los valles de la curva de consumo, permitiendo aliviar la solicitud de electricidad a la red y explotar al máximo la capacidad instalada de forma equitativa a lo largo del día, lo cual evitaría la subutilización de la infraestructura en espacios de inactividad, como por ejemplo, los horarios nocturnos.

En Colombia no existe aún la regulación para la implementación de las tarifas variables o franjas horarias ya que se encuentra vigente una tarifa plana para el kilowatt/hora de consumo de un valor de 366.05⁷ COP (Pesos Colombianos) a Diciembre de 2014 para estrato 3; dependiendo del nivel socioeconómico el valor puede tener una ligera variación, pero continúa constante a lo largo del día. En la figura 4-10 se aprecia la variación de las tarifas de energía eléctrica del sistema eléctrico español para el día 3 de Junio del 2014.

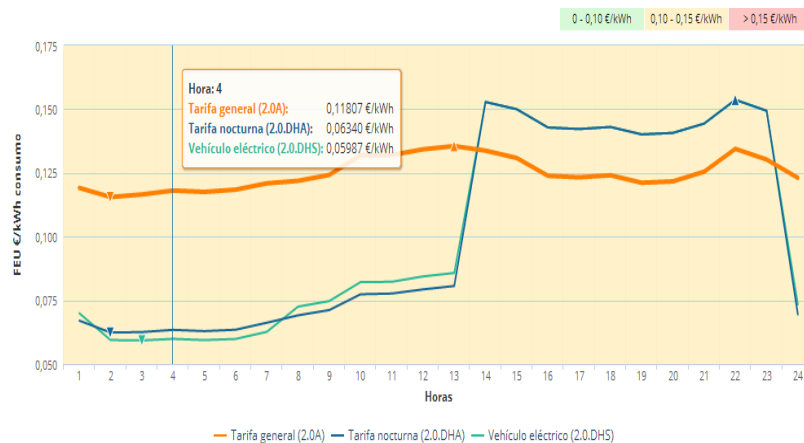


Ilustración 4-10: Tarifas españolas de energía eléctrica⁸.

En la revisión bibliográfica se evidenció la necesidad de utilizar en el escenario planteado la implementación de una tarifa variable que prepare el sistema para una futura reglamentación en esta temática, siendo este un aspecto fundamental para el desarrollo de los sistemas de gestión; por tal motivo se adaptó el escenario español a las condiciones Colombianas y se determinó trabajar con dos franjas o tarifas horarias, la primera con una variación mínima a lo largo del día denominada “Tarifa General” y la otra con un descenso en la tarifa importante en las horas de la noche denominada “Tarifa Nocturna”. La información de estos precios es suministrada al usuario con un día de anticipación para programar los procesos que desee ejecutar el día siguiente.

⁷ http://www.emcali.com.co/web/energy_service/tarifas-energia

⁸ Ilustración tomada de: <http://www.ree.es/es/>

Se aprovechó la gran infraestructura de información del sistema eléctrico español para obtener el comportamiento del precio para el mes de Junio del 2014. Estos datos fueron normalizados a un escenario hipotético Colombiano creado a partir de la variación de los precios en la bolsa de energía eléctrica para el mes de Junio del 2014. Esta normalización ofrece un punto de partida para el proceso de simulación y acota la variación a un rango de valores que puede tener lugar en Colombia debido a que en Europa el costo de la energía eléctrica es menor.

El procedimiento matemático se indica en la figura 4-11:

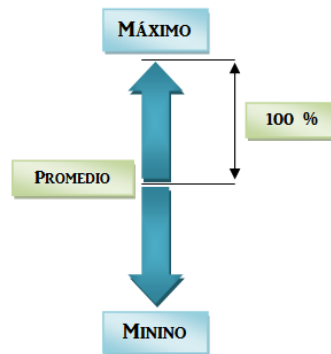


Ilustración 4-11: Normalización de precios.

La información está disponible en MW/h, por lo tanto, se realizó la conversión en euros por kW/h. Posteriormente se calculó el valor del kW/h en pesos Colombianos para la tarifa general y nocturna. Para ello se utilizó un valor del Euro de 2522.25 COP del día 28 de Agosto del 2014. Se realizó el cálculo del valor promedio y la diferencia entre el precio máximo y mínimo del día como lo indican las ecuaciones 2 y 3.

$$Promedio = \frac{Max + Min}{2} \quad (Ec\ 2)$$

$$Diferencia = Max - Min \quad (Ec\ 3)$$

$$Ajuste = \frac{Dif}{2} \quad (Ec\ 4)$$

A continuación se definió un valor de ajuste (Ec 4) para cada día. Se tomó el valor de la tarifa en cada hora y se le restó el promedio obtenido en la Ec2. Finalmente se realizó el procedimiento de normalización y obtención del precio colombiano para cada hora como se indica en la Ec 7.

$$Coef = Valor(x) - Promedio \quad (Ec\ 5)$$

$$Normalización = \frac{Coef}{Ajuste} \times 100 \quad (Ec\ 6)$$

$$Precio\ Colombia = \left(\frac{Normalización}{100} \times AjusteColombia \right) + PromedioColombia \quad (Ec\ 7)$$

Para determinar el valor de ajuste en el escenario Colombiano se utilizó la variación de precio de la bolsa de energía eléctrica para el mes de Junio del 2014 (figura 4-12) al cual se le aplicó el mismo procedimiento de las ecuaciones 1, 2 y 3 para determinar el valor de ajuste que permitiera encontrar un rango de variación y de esta forma acoplar el comportamiento europeo a los precios presentes en el escenario Colombiano.

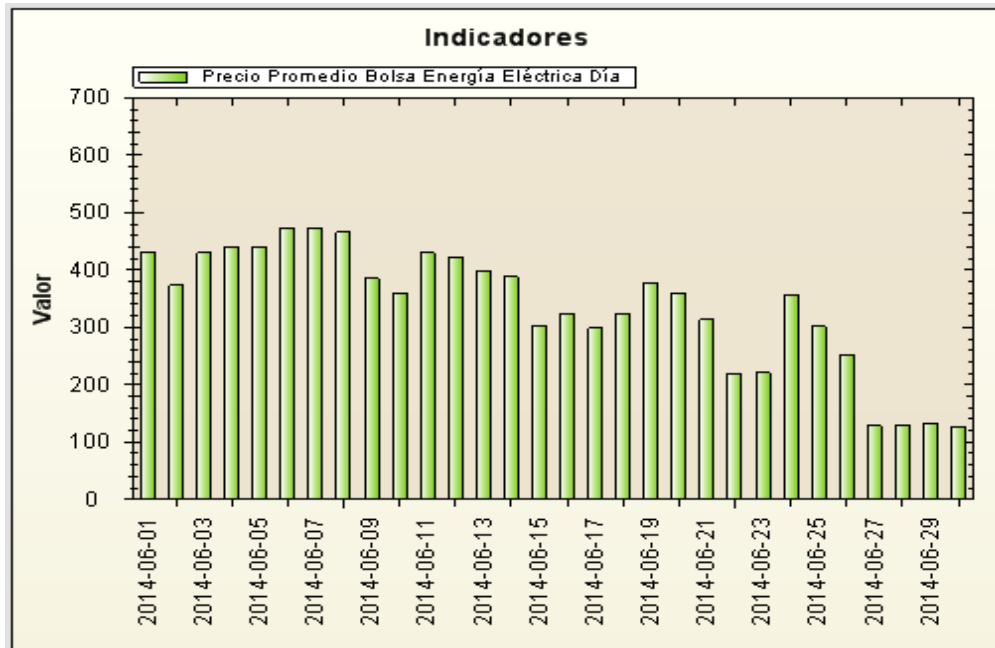


Ilustración 4-12: Precio promedio bolsa de energía eléctrica⁹ en Colombia Junio 2014.

Los cálculos efectuados para cada hora y las tablas generadas para los 30 días del escenario de tarifa variable hacen parte del archivo “Simulación de Tarifas.xlsx” presentado como material adjunto del presente documento. Un ejemplo de las tablas generadas se puede observar en el anexo 7.4.

⁹ Ilustración tomada de: <http://www.upme.gov.co>

4.2. PRUEBAS DESARROLLADAS.

Los ensayos fueron desarrollados siguiendo cuatro protocolos de pruebas, verificando así el correcto funcionamiento de la herramienta software. Posteriormente se utilizaron criterios de evaluación que facilitaron la interpretación de los resultados.

4.2.1. Protocolos de funcionamiento.

Los protocolos de funcionamiento han sido divididos en cuatro tipos: el primero, para evaluar el funcionamiento de la interfaz de usuario; el segundo, la etapa de simulación; el tercero, el sistema de gestión; y por último, el que permite determinar los resultados generales. Su implementación corresponde a una serie de tareas que permiten verificar el funcionamiento de la aplicación otorgando confiabilidad en los resultados obtenidos.

4.2.1.1. Funcionamiento de la interfaz de usuario.

Este protocolo está relacionado al funcionamiento visual de la interfaz, principalmente cuando la información y los botones que el usuario observa son cargados en la plataforma. Con este protocolo se recorren todas las funcionalidades de la aplicación y se verifica que posean una tarea asociada en la ejecución del sistema (tabla 4-9).

Tabla 4-9: Funcionamiento de la interfaz de usuario.

Protocolo de Funcionamiento Interfaz Gráfica		Resultado
1	La aplicación carga correctamente en el navegador.	Cumple
2	Se informa al usuario la tarifa actual.	Cumple
3	Se visualiza el costo actual asociado al consumo.	Cumple
4	Es posible seleccionar el perfil para la fuente solar.	Cumple
5	Es posible seleccionar el perfil para la fuente eólica.	Cumple
6	El consumo actual se actualiza con cada movimiento.	Cumple
7	La descripción se actualiza al seleccionar un elemento.	Cumple
8	Se ejecuta la programación de una carga del sistema.	Cumple
9	El botón de menú direcciona a la sección principal.	Cumple
10	Los módulos del sistema cargan la información asociada.	Cumple
11	La simulación se puede activar desde todos los módulos.	Cumple
12	La activación de las fuentes genera un ahorro de consumo.	Cumple
13	Se visualiza las sugerencias del sistema en todos los módulos.	Cumple
14	La información de descripción funciona para todas las cargas.	Cumple
15	Es posible generar un reporte sobre el estado actual del sistema.	Cumple
16	Los estados de las cargas se visualizan al actualizar la aplicación	Cumple
17	El usuario puede visualizar la tarifa variable para un día específico.	Cumple
18	La sección de configuración es accesible desde todos los módulos.	Cumple
19	Es posible seleccionar periodo de tiempo mensual, semanal y diario.	Cumple
20	Los botones de encendido y apagado funcionan para todas las cargas.	Cumple
21	Es posible seleccionar el tipo de grafica entre almacenamiento, generación y consumo.	Cumple

4.2.1.2. Funcionamiento de la simulación del sistema.

Con las tareas indicadas en la tabla 4-10 se puede verificar el funcionamiento de la simulación de los perfiles de usuario y los perfiles de los dispositivos de generación de energía. Se analiza también los cambios generados en la interfaz visual a medida que avanza el proceso de simulación.

Tabla 4-10: Protocolo de funcionamiento de la interfaz grafica y la sección de simulación.

Protocolo de Funcionamiento Sección de Simulación		Resultado
1	La información se actualiza al reiniciar la simulación.	Cumple
2	La simulación inicia correctamente en la fecha establecida.	Cumple
3	Es posible detener el proceso de simulación en todo momento.	Cumple
4	Cada hora de la simulación genera cambios visuales en la aplicación.	Cumple
5	Una vez terminada la simulación se informa al usuario su culminación.	Cumple
6	La duración de la simulación es el periodo de tiempo Junio y Julio del 2014.	Cumple
7	La simulación indica el día y el mes correspondiente a cada periodo de tiempo.	Cumple
8	Cuando se detiene la simulacion se recarga la respectiva sección.	Cumple

4.2.1.3. Pruebas del sistema de gestión.

Las tareas consignadas en la tabla 4-11 permiten verificar la injerencia del sistema de gestión implementando en la interfaz de usuario y los cambios derivados de la manipulación de las estrategias de control presentes en el módulo de configuración.

Tabla 4-11: Protocolo de funcionamiento del sistema de gestión.

Protocolo de Funcionamiento Sección Sistema de Gestión		Resultado
1	Es posible activar y desactivar el sistema de gestión por objetivo.	Cumple
2	Es posible ingresar la cantidad energía presupuestada de consumo.	Cumple
3	El usuario puede seleccionar un tipo de tarifa de precio.	Cumple
4	Es posible activar el sistema de gestión por prioridades.	Cumple
5	Se visualiza el estado de los elementos seleccionados de gestión.	Cumple
6	Es posible apreciar diariamente la programación ejecutada por el sistema de gestión.	Cumple
7	Los botones de sugerencias y automático del sistema de gestión por objetivo funcionan para la iluminación y el aire acondicionado.	Cumple
		Cumple
8	Los botones de Automático, Semiautomático y manual para los 5 elementos con prioridad del sistema funcionan correctamente.	Cumple
		Cumple

4.2.1.4. Pruebas para la obtención de resultados.

Finalmente se desarrollan las tareas para la obtención de los resultados generales (tabla 4-12) las cuales se encargan de verificar el funcionamiento en conjunto de todo el sistema y la visualización de los resultados de la simulación cuando son cargados cada

uno de los perfiles de usuario. Permite determinar a su vez los resultados obtenidos de ejecutar los diferentes tipos de gestión implementados en el sistema y la combinación de los mismos.

Tabla 4-12: Protocolo para resultados generales.

Protocolo de Funcionamiento Resultados		Resultado
1	Simulación de los tres perfiles de usuario sin sistemas de gestión y sin fuentes de generación para un día. (Archivo Perfiles de Usuario Resultados)	Cumple
2	Simulación de los tres perfiles de usuario integrando las fuentes de generación y sin el sistema de gestión para un día. (Archivo Resultados con Fuentes de Generación)	Cumple
3	Simulación de los tres perfiles de usuario con sistema de gestión por objetivo y sin fuentes de generación para un día. (Archivo Resultados con HEMS_Objetivo)	Cumple
4	Simulación de los tres perfiles de usuario con sistema de gestión por prioridades sin fuentes de generación para un día. (Archivo Resultados con HEMS_Prioridades)	Cumple
5	Simulación de los tres perfiles de usuario con sistema de gestión por objetivo y prioridades sin las fuentes de energía renovables. (Archivo Resultados HEMS)	Cumple
6	Simulación de los tres perfiles de usuario con sistema de gestión por objetivo y prioridades integrando a su vez las fuentes de energía renovables. (Archivo Total)	Cumple

4.2.2. Criterios de evaluación.

Para tener un criterio de evaluación se tomó el cálculo correspondiente a la tarifa básica como punto de comparación, teniendo presente que este es el valor de máximo consumo.

Tabla 4-13: Resultados Perfil 1 para el 01 Junio del 2014 aplicando tarifas horarias y fuentes de energía renovables las unidades trabajadas son pesos colombianos COP.

Perfil 1- Jun 01 -2014		Tarifas Horarias			Fuentes de Energía Renovable							
Hora	Total W	Tarifa	Tarifa	Tarifa	Panel Solar	Eolica	Generacion	Consumo	Tarifa	Tarifa	Tarifa	
		General	Nocturna	399	Despejado	Moderado	Des-Mod	Horario	399	General	Nocturna	
00:00 - 01:00	1143	325,59	138,48	456,06	0,00	71,57	71,57	1071,43	427,50	348,85	148,37	
01:00 - 02:00	1143	313,14	126,08	456,06	0,00	218,78	218,78	924,22	368,76	289,41	116,53	
02:00 - 03:00	1143	316,85	125,87	456,06	0,00	126,92	126,92	1016,08	405,42	321,94	127,89	
03:00 - 04:00	1143	323,16	131,59	456,06	0,00	238,99	238,99	904,01	360,70	292,14	118,96	
04:00 - 05:00	1143	323,31	131,95	456,06	0,00	203,59	203,59	939,41	374,83	303,72	123,96	
05:00 - 06:00	1143	326,10	133,93	456,06	54,00	228,00	282,00	861,00	343,54	280,77	115,31	
06:00 - 07:00	1333	334,61	139,30	531,87	727,00	85,36	812,36	520,64	207,73	174,21	72,53	
07:00 - 08:00	3198	323,54	129,51	1276,00	1840,00	214,63	2054,63	1143,37	456,21	369,93	148,08	
08:00 - 09:00	4573	350,15	149,37	1824,63	2640,00	90,97	2730,97	1842,03	734,97	644,98	275,15	
09:00 - 10:00	1525	355,98	155,29	608,48	2723,00	209,92	2932,92	0,00	0,00	0,00	0,00	
10:00 - 11:00	2812	358,64	162,59	1121,99	2041,00	43,78	2084,78	0,00	0,00	0,00	0,00	
11:00 - 12:00	3180	377,20	179,50	1268,82	7177,00	134,03	7311,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
12:00 - 13:00	1423	376,19	178,79	567,78	3625,00	88,36	3713,36	0,00	0,00	0,00	0,00	
13:00 - 14:00	3056	378,57	448,75	1219,34	5411,00	49,05	5460,05	0,00	0,00	0,00	0,00	
14:00 - 15:00	1350	377,46	447,63	538,65	914,00	136,60	1050,60	0,00	0,00	0,00	0,00	
15:00 - 16:00	1060	350,78	420,35	422,94	510,00	230,53	740,53	0,00	0,00	0,00	0,00	
16:00 - 17:00	1998	336,87	406,35	797,20	221,00	112,14	333,14	0,00	0,00	0,00	0,00	
17:00 - 18:00	2770	336,91	406,39	1105,23	0,00	52,61	52,61	0,00	0,00	0,00	0,00	
18:00 - 19:00	4398	341,61	411,32	1754,80	0,00	30,71	30,71	0,00	0,00	0,00	0,00	
19:00 - 20:00	1643	367,16	437,04	655,56	0,00	141,78	141,78	1363,50	544,04	500,63	595,91	
20:00 - 21:00	545	351,66	420,38	217,46	0,00	162,91	162,91	382,09	152,46	134,37	160,62	
21:00 - 22:00	3300	388,25	457,07	1316,70	0,00	78,30	78,30	3221,70	1285,46	1250,83	1472,53	
22:00 - 23:00	2598	403,43	473,08	1036,60	0,00	215,67	215,67	2382,33	950,55	961,10	1127,03	
23:00 - 00:00	2891	383,59	191,76	1153,51	0,00	67,38	67,38	2823,62	1126,63	1083,11	541,45	
	50511			20153,89				31115,54	19395,46	7738,79	6955,99	5144,32

Para verificar el funcionamiento de los algoritmos del sistema de gestión se desarrolló una serie de tablas que presentan los resultados en las primeras 24 horas de simulación. La tabla 4-13 presenta el resumen de los cálculos efectuados para el consumo y costo del primero de Junio del 2014 cuando son implementadas las tarifas variables y las fuentes de generación renovables. Es importante aclarar que la variación del perfil de consumo a lo largo del mes no ha sido considerada, por lo tanto el consumo de energía es igual para los 30 días de Junio, los parámetros que presentarán variación están relacionados con la tarifa variable y los sistemas de gestión implementados. Para profundizar y comprender los resultados tabulados por favor remitirse a los archivos en la carpeta “Resultados Finales” adjuntos al presente documento.

En la tabla 4-14 se presentan los resultados de la implementación de los sistemas de gestión aplicados de forma independiente y en conjunto para el primero de Junio del 2014 teniendo presente la implementación de los dos tipos de tarifa variable para cada escenario de simulación. Como se observa en los resultados totales, dependiendo de la estrategia de gestión utilizada se puede presentar un variación tanto en el consumo total de energía como en el costo asociado para ese periodo de tiempo respecto a la utilización de una tarifa plana con ausencia de los sistemas de gestión. Estos aspectos fueron esenciales para desarrollar el análisis de los resultados.

Tabla 4-14: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 aplicando sistema de gestion por objetivos y prioridades las unidades trabajadas son pesos colombianos COP.

Interfaz de Usuario para la Gestión de Energía en un Ambiente Residencial - Resultados obtenidos											
Consumo General		Prioridades		Gestión por Objetivo				Sistema de Gestion Completo			
Total	Total	Total	Total	Total W	Tarifa	Total	Total	Total HEMS	Total	Total HEMS	Total
General	Nocturna	General	Nocturna	Objetivo	399	General	Nocturna	General W	General	Nocturna W	Nocturna
372,15	158,28	372,15	158,28	1143	456,06	372,15	158,28	1143	372,15	1143	158,28
357,92	144,11	414,91	174,37	1143	456,06	357,92	144,11	1325	414,91	1383	174,37
362,16	143,87	438,20	166,78	1143	456,06	362,16	143,87	1383	438,20	1325	166,78
369,37	150,41	757,15	239,24	1143	456,06	369,37	150,41	2343	757,15	1818	239,24
369,54	150,82	975,74	319,06	1143	456,06	369,54	150,82	3018	975,74	2418	319,06
372,73	153,08	592,84	153,08	1143	456,06	372,73	153,08	1818	592,84	1143	153,08
446,04	185,69	446,04	185,69	1333	531,87	446,04	185,69	230	76,96	230	32,04
1034,69	414,17	1034,69	491,87	3198	1276,00	1034,69	414,17	2095	677,82	2695	349,02
1601,21	683,07	1601,21	862,32	3490	1392,51	1222,01	521,30	3490	1222,01	4690	700,55
542,88	236,82	302,59	132,00	1505	600,50	535,76	233,72	830	295,47	830	128,89
1008,50	457,21	943,23	427,62	2792	1114,01	1001,33	453,96	2610	936,06	2610	424,37
1199,50	570,83	1108,97	527,74	3130	1248,87	1180,64	561,85	2890	1090,11	2890	518,77
535,32	254,42	535,32	254,42	340	135,66	127,91	60,79	340	127,91	340	60,79
1156,92	1371,37	1156,92	1371,37	1030	410,97	389,93	462,21	1030	389,93	1030	462,21
509,57	604,30	56,62	67,14	1310	522,69	494,47	586,39	110	41,52	110	49,24
371,83	445,57	371,83	445,57	990	395,01	347,27	416,15	990	347,27	990	416,15
673,06	811,89	673,06	811,89	1948	777,25	656,22	791,57	1948	656,22	1948	791,57
933,24	1125,71	933,24	1125,71	2730	1089,27	919,77	1109,45	2730	919,77	2730	1109,45
1502,41	1808,97	1271,83	1531,33	4298	1714,90	1468,25	1767,84	3623	1237,66	3623	1490,20
603,25	718,06	603,25	718,06	1533	611,67	562,86	669,99	1533	562,86	1533	669,99
191,66	229,10	191,66	229,10	505	201,50	177,59	212,29	505	177,59	505	212,29
1281,23	1508,32	815,33	959,84	3300	1316,70	1281,23	1508,32	2100	815,33	2100	959,84
1048,11	1229,06	1048,11	1229,06	2598	1036,60	1048,11	1229,06	2598	1048,11	2598	1229,06
1108,95	554,37	1108,95	554,37	1878	749,32	720,38	360,12	1878	720,38	1878	360,12
17952,24	14109,51	17753,85	13135,92	44766	17861,63	15818,31	12445,44	42560	14893,97	42560	11175,36

4.3. RESULTADOS.

Siguiendo los protocolos de pruebas diseñados los resultados obtenidos son:

4.3.1. Prueba 1: Consumo básico y Tarifa Variable

Objetivo: Activar el proceso de simulación utilizando los tres perfiles de consumo para el primer día del intervalo de tiempo (primero de Junio) y el mes de Junio en su totalidad implementando la tarifa básica, general y nocturna.

Análisis y Resultados: La curva de demanda generada por el perfil 1 de consumo para el primero de Junio del 2014 se aprecia en la figura 4-13, este comportamiento es igual para los tres tipos de tarifa (básica, general y nocturna). La variación se presenta en el costo total asociado a cada tarifa y cuando se cambia de perfil de consumo.

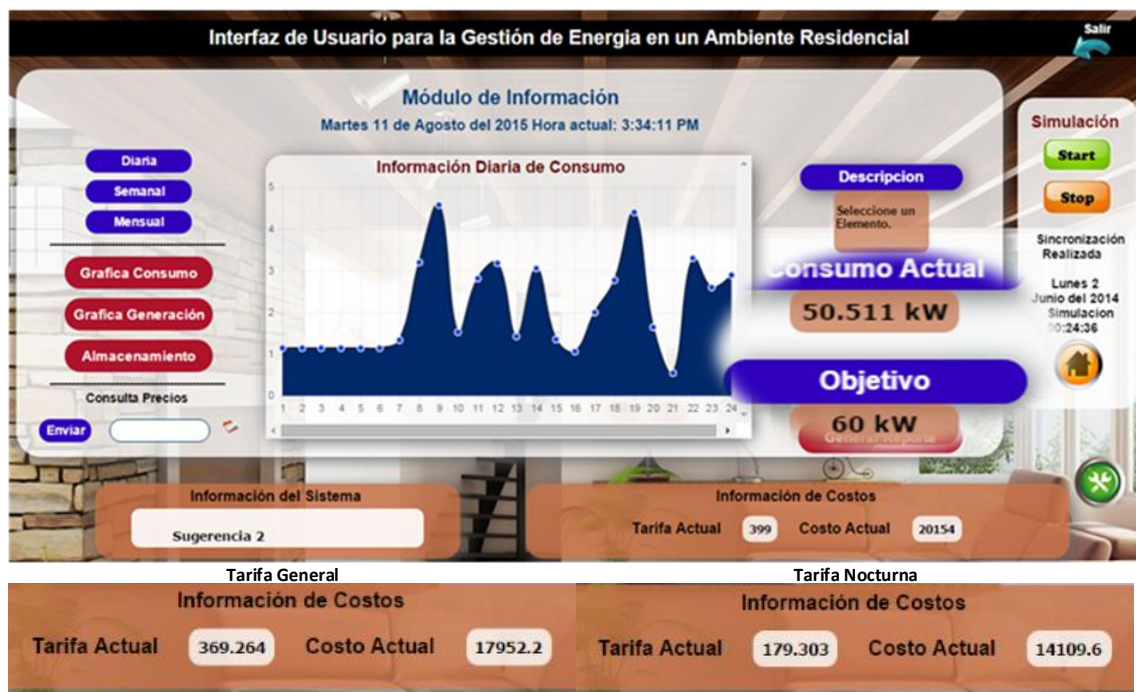


Ilustración 4-13: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de consumo y precio aplicando tarifa Básica, General y Nocturna.

En la tabla 4-15 se consignan los resultados de la prueba 1 ejecutando los tres perfiles de definidos (bajo, medio y alto consumo) aplicando a su vez los tres tipos de tarifa. Cuando se analizan los resultados solo el primero de Junio se observa un ahorro significativo en los tres perfiles para las tarifas diferenciadas empleadas.

Tabla 4-15: Resultados de Consumo básico y tarifa variable.

Resultados Consumo Básico y Tarifa Variable						
Tarifas	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3	
	Consumo 50,511 kW		Consumo 31,929 kW		Consumo 68,687 kW	
	1 Junio \$	Total \$	1 Junio \$	Total \$	1 Junio \$	Total \$
Basica (Plana)	20153,89	604616,67	12739,671	382190,13	27406,113	822183,39
General	17952,24	607596,90	11419,76	385310,09	24584,11	826423,69
Nocturna	14109,51	489928,64	9540,12	327990,48	21143,79	720878,00
% Ahorro General	10,92	-0,49	10,36	-0,82	10,30	-0,52
% Ahorro Nocturno	29,99	18,97	25,11	14,18	22,85	12,32

Al analizar la totalidad del mes se observa un pequeño margen negativo (casilla roja) en la tarifa general debido a la variación de precios; cuando se obtiene un promedio sobre los precios utilizados a lo largo del mes es similar al valor de la tarifa plana. Por su parte, la tarifa nocturna representa en todos los escenarios un ahorro significativo respecto a la tarifa plana.

4.3.2. Prueba 2: Implementación de fuentes de energía renovables.

Objetivo: Activar el proceso de simulación utilizando los tres perfiles de consumo para el mes de Junio del 2014 combinando los tres tipos de tarifa (básica, general y nocturna) y la implementación de las fuentes de energía renovables (eólica y solar) para determinar el porcentaje de autoabastecimiento que se presenta en la residencia

Análisis y Resultados: Para el desarrollo de esta prueba se configuraron las fuentes de energía renovables siguiendo lo presentado en la tabla 4-13 (panel solar en perfil “despejado” y aerogenerador configurado en el perfil “moderado”). En la figura 4-14 se grafican como ejemplo los perfiles de generación y almacenamiento producidos para el primero de Junio del 2014, la prueba utiliza un único perfil de generación para todo el periodo de simulación para facilitar la comparación respecto al consumo básico.



Ilustración 4-14: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de Almacenamiento y Generación cuando se utilizan las Fuentes de Energía Renovables.

Debido al almacenamiento entre las 10 y las 19 horas no se produce consumo en el apartamento en esta franja horaria como se observa en la figura 4-15. Al igual que en el anterior escenario la tarifa General y Nocturna presentan una disminución en costo respecto a la tarifa Básica.



Ilustración 4-15: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de consumo y precio aplicando tarifa Básica, General y Nocturna, Incluyendo las Fuentes de Energía Renovables.

Los resultados de la prueba 2 se condensan en la tabla 4-16. Se aprecia un porcentaje de autoabastecimiento del 61% (perfil 1), 88,35 (perfil 2) y 50,98 (perfil 3) para la configuración de las fuentes de energía planteada. A partir de esta disminución se ejecutó las tarifas diferenciadas encontrando porcentajes de ahorro similares a los expresados en los resultados de la prueba 1.

Tabla 4-16: Resultados fuentes de energía renovables.

Resultados Fuentes de Energía Renovable Implementadas						
Tarifas	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3	
	Consumo 19,395 kW		Consumo 3,720 kW		Consumo 33,667 kW	
	1 Junio \$	Total \$	1 Junio \$	Total \$	1 Junio \$	Total \$
Basica (Plana)	7738,79	232163,64	1484,47	44534,12	13433,26	402997,67
General	6955,99	233051,71	1356,01	44813,71	12122,16	403765,15
Nocturna	5144,32	177139,01	912,27	31159,85	11295,00	377670,59
% Ahorro General	10,12	-0,38	8,65	-0,63	9,76	-0,19
% Ahorro Nocturno	33,53	23,70	38,55	30,03	15,92	6,28

4.3.3. Prueba 3: Sistema de gestión por prioridades.

Objetivo: Activar el proceso de simulación utilizando los tres perfiles de consumo para el primero de Junio del 2014 combinando dos tipos de tarifa (general y nocturna) y el sistema de gestión por prioridades.

Análisis y Resultados: El sistema de gestión por prioridades utiliza la variación de tarifa para el desplazamiento del encendido de las cargas, un ejemplo de la variación de costos se aprecia en la figura 4-16 correspondiente a la tarifa general del primero de Junio del 2014. El software realiza la programación de los dispositivos con prioridad automática para ese día como se observa en la figura 4-17, el algoritmo implementado realiza un barrido por el vector de precios seleccionando los de menor valor y adjudicándolos a las actividades. En la figura 4-17 se observa a su vez la programación de los eventos vistos desde la interfaz phpMyAdmin de la base de datos, verificando la adjudicación de horarios realizada por el sistema de gestión.



Ilustración 4-16: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de tarifa variable (General).

Programacion Generada		id_elemento	id_usuario	dia	mes	hora_evento	estado	duracion
Actividad Programada	Hora De Ejecución							
Lavadora	1	27	1	0	0	1	gestionado	1
Secadora	2	30	1	0	0	4	gestionado	1
Lavavajillas	3	29	1	0	0	3	gestionado	1
Aspiradora	4	31	1	0	0	7	gestionado	1
Plancha	7	28	1	0	0	2	gestionado	1

Ilustración 4-17: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de programación por el sistema de gestión por prioridades verificando con la base de Datos.

Este procedimiento se realizó para las tarifas general y nocturna, obteniendo el comportamiento de consumo presentado en la figura 4-18. El consumo energético es igual cada día debido a la ejecución con el mismo perfil de consumo, por lo tanto, la variación está relacionada con el costo asociado a cada hora del día.



Ilustración 4-18: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de consumo y precio aplicando tarifa General y Nocturna implementando el Sistema de Gestión por Prioridades.

La tabla 4-17 condensa los resultados de los tres perfiles aplicando las diferentes tarifas del sistema para el primer día de simulación. En estos resultados se observa un ahorro considerable respecto al consumo básico generado en la prueba 1.

Tabla 4-17: Resultados sistema de gestión por prioridades.

Resultados Sistema de Gestión por Prioridades			
Tarifas	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3
	Consumo 50,511 kW	Consumo 31,929 kW	Consumo 68,687 kW
	1 Junio \$	1 Junio \$	1 Junio \$
Basica (Plana)	20153,89	12739,671	27406,113
General	17753,85	11319,47	24300,53
Nocturna	13135,92	8951,52	20005,79
% Ahorro General	11,91	11,15	11,33
% Ahorro Nocturno	34,82	29,74	27,00

4.3.4. Prueba 4: Sistema de gestión por Objetivo.

Objetivo: Activar el proceso de simulación utilizando los tres perfiles de consumo para el primero de Junio del 2014 combinando los tres tipos de tarifa (básica, general y nocturna) y el sistema de gestión por objetivo.

Análisis y Resultados: La implementación del sistema de gestión por objetivo se realizó para el perfil 1 utilizando un Target de 1080 kW/mes, lo que equivale a 36 kW/día. Cada perfil de consumo le fue suministrado un objetivo mensual debido a la variación en la demanda. En esencia esta estrategia de gestión evalúa de forma horaria si el usuario está excediendo el consumo programado para tomar acciones de apagado sobre las cargas, considerando a los 3 grupos de cargas gestionables (AC1 –AC2- Luminarias) en modo de gestión “automático”. En la figura 4-19 se aprecia que el consumo descende de 50.511 kW/día a 44.766 kW por las acciones de gestión realizadas.



Ilustración 4-19: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de consumo y precio aplicando tarifa Básica, General y Nocturna implementando el Sistema de Gestión por Objetivo.

Es importante resaltar que la determinación de apagado de los elementos de gestión están sujetos a la información en la base de datos sobre las actividades de los integrantes de la familia. Esta metodología funciona como una red de sensores de presencia simulados con el objetivo de evitar la interferencia de las acciones de control en las actividades del hogar o la disminución de la percepción de comodidad en los residentes. Bajo estas condiciones se ejecutaron las tres tarifas de precios apreciando una significativa disminución tanto en consumo como en costo total de la energía utilizada para el primer día del periodo de simulación. Esta información se encuentra condensada en la tabla 4-18.

Tabla 4-18: Resultados sistema de gestión por objetivo.

Resultados Sistema de Gestión por Objetivo			
Tarifas	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3
	Consumo 44,76 kW	Consumo 26,52 kW	Consumo 65,31 kW
	1 Junio \$	1 Junio \$	1 Junio \$
Basica (Plana)	17861,63	10583,08	26061,88
General	15818,31	9389,24	23298,66
Nocturna	12445,44	7680,56	19888,34
% Ahorro General	11,44	11,28	10,60
% Ahorro Nocturno	30,32	27,43	23,69

4.3.5. Prueba 5: Sistema de de gestión completo.

Objetivo: Ejecutar la simulación del apartamento modelo utilizando los tres perfiles de consumo para el mes de Junio del 2014 implementando las dos estrategias del sistema de gestión desarrollado (prioridades y objetivo), empleando a su vez la tarifa general y nocturna para determinar el precio total de la energía consumida.

Análisis y Resultados: La aplicación de la unión de las estrategias de gestión presenta una particularidad interesante debido a que no es una sumatoria directa de resultados. Esto surge por la componente adaptativa del algoritmo implementado: por una parte, la gestión por objetivo disminuye el consumo y, a su vez, la gestión por prioridades se ajusta a las nuevas condiciones de consumo para desplazar la ejecución de actividades creando nuevos límites de comparaciones con el objetivo de consumo horario, logrando una disminución a 42.56 kW/día. En la figura 4-20 se aprecia el perfil de consumo de este escenario y la disminución en el costo para el primero de Junio.



Ilustración 4-20: Resultados Perfil 1 para el 01 de Junio del 2014 con Información de consumo y precio aplicando tarifa General implementando el Sistema de Gestión por Objetivo y Prioridades.

Al expandir esta simulación a la totalidad del mes de Junio se determina un resultado de ahorro importante como lo muestran la figura 4-21 (Tarifa general con y sin HEMS) y la figura 4-22 (Tarifa nocturna con y sin HEMS). La tarifa básica no es simulada en este escenario debido a que la gestión de prioridades requiere una variación de costos para ejecutarse.

id	consumo_actual	costo_actual	target	id	consumo_actual	costo_actual	target
1	1515.22	607586	1080	1	1515.22	489776	1080

Ilustración 4-21: Resultados Perfil 1 para Junio del 2014 con Información de consumo y costo total aplicando tarifa General y Nocturna sin Sistema de Gestión.

id	consumo_actual	costo_actual	target	id	consumo_actual	costo_actual	target
1	1276.78	505684	1080	1	1276.78	392100	1080

Ilustración 4-22: Resultados Perfil 1 para Junio del 2014 con Información de consumo y costo total aplicando tarifa General implementando el Sistema de Gestión por Objetivo y Prioridades.

La información del mes de Junio consignada en la figura 4-23 corresponde a la depositada en la tabla registro_mensual en la cual se aprecia la variación en el costo total diario a pesar de tener un consumo constante, este efecto se produce por las condiciones impuestas por la tarifa variable, esta característica es una componente fundamental en un futuro escenario de tarifa horaria y gestión por prioridades.

dia	semana	mes	consumo	generacion	almacenamiento	costo
1	1	6	42.56	0	0	14894
2	1	6	42.56	0	0	16727
3	1	6	42.56	0	0	16884.6
4	1	6	42.56	0	0	16902.4
5	1	6	42.56	0	0	17078.1
6	1	6	42.56	0	0	15715
7	1	6	42.56	0	0	14933.6
8	2	6	42.56	0	0	15616.2
9	2	6	42.56	0	0	16457.9
10	2	6	42.56	0	0	17291.5
11	2	6	42.56	0	0	17712.2
12	2	6	42.56	0	0	18251.4
13	2	6	42.56	0	0	18020.9
14	2	6	42.56	0	0	14907.8
15	3	6	42.56	0	0	11758
16	3	6	42.56	0	0	15429.1
17	3	6	42.56	0	0	16897.8
18	3	6	42.56	0	0	18425.1
19	3	6	42.56	0	0	18382.2
20	3	6	42.56	0	0	18915.9
21	3	6	42.56	0	0	17284.7
22	4	6	42.56	0	0	16723.7
23	4	6	42.56	0	0	19161.1
24	4	6	42.56	0	0	19215.3
25	4	6	42.56	0	0	17862.8
26	4	6	42.56	0	0	18573.8
27	4	6	42.56	0	0	18926.9
28	4	6	42.56	0	0	15223.6
29	5	6	42.56	0	0	14324.2
30	5	6	42.56	0	0	17185.2

Ilustración 4-23: Resultados Perfil 1 para Junio del 2014 con Información de consumo, generación, almacenamiento y costo total aplicando tarifa General e implementando el Sistema de Gestión por Objetivo y Prioridades.

La tabla 4-19 presenta un resumen de los resultados obtenidos para las simulaciones del mes de Junio del 2014 aplicando tarifa variable general y nocturna en conjunto con el sistema de gestión. La respuesta del sistema bajo estas condiciones presenta una disminución en el costo total de energía para el mes de Junio del 16,36% para tarifa general y del 35,15% para tarifa nocturna. Al aplicar las estrategias de gestión el consumo mensual descendió de 1515,33 kW a 1276,8 kW. Este resultado representa un ahorro del 15,74 % frente al consumo básico. Los resultados en amarillo presentados en la tabla 4-19 de tarifa general y nocturna son generados al multiplicar ese día por 30, lo cual no corresponden al consumo real del mes, por lo tanto se logra demostrar que el comportamiento de precio del sistema cambia para cada día originando variaciones en el resultado final de costo. Esta característica es propia de la tarifa variable.

Tabla 4-19: Resumen de resultados Perfil 1 para Junio de 2014 considerando el Sistema de Gestión.

Resultados Mes de Junio Sistema de Gestión Completo								
Perfil 1- Junio -2014		Consumo General		Sistema de Gestion Completo				
Consumo kW	Tarifa	Total	Total	Total HEMS	Total	General	Total	Nocturna
50,511	399	General	Nocturna	Consumo kW	General	Real	Nocturna	Real
1515,33	20153,89	17952,24	14109,51	42,56	607586	505684	489776	392100
Totales Mensual	604616,67	538567,16	423285,33	1276,80				
Ahorro en \$		66049,51	181331,34	238,53	-2969,33	98932,67	114840,67	212516,67
Ahorro en %		10,92	29,99	15,74	-0,49	16,36	18,99	35,15

4.4. ANALISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS.

Los resultados correspondientes a la tarifa variable están sujetos al comportamiento del precio para el día evaluado: por ejemplo, para el primero de Junio del 2014 se aprecia un ahorro del 10,92 (tarifa general) y del 29,99% (tarifa nocturna) frente al costo de la tarifa básica como lo muestra la tabla 4-19. Pero si es simulado el mes completo, este ahorro da un valor negativo como se aprecia en la casilla roja de la tabla 4-19, debido a que existen días en los cuales el promedio del precio da un valor por encima de 399 pesos colombianos. Esta información se puede corroborar en la tabla 4-21.

En la tabla 4-20 se presentan los resultados obtenidos al aplicar las fuentes de generación al sistema. La disminución de consumo representa un 61,6% de autoabastecimiento para el apartamento modelo por tal motivo seria pertinente en trabajos futuros realizar un análisis técnico y económico para analizar la viabilidad de una implementación.

Tabla 4-20: Resumen de resultados Perfil 1 para el 01 Junio de 2014 considerando el consumo general comparado con la implementación de las Fuentes de Energía Renovables.

Perfil 1- Jun 01 -2014		Consumo General		Fuentes de Generación				
Consumo	Tarifa	Total	Total	Generacion	Consumo	Tarifa	Total	Total
W	399	General	Nocturna	W	Horario	399	General	Nocturna
50511	20153,89	17952,24	14109,51	31115,54	19395,46	7738,79	6955,99	5144,32
Ahorro en \$		2201,65	6044,38		31115,54	12415,10	10996,25	8965,19
Ahorro en %		10,92	29,99		61,60	20153,89	17952,24	14109,51

Tabla 4-21: Promedios de precios para el mes de Junio del 2014 para el perfil de tarifa general.

Promedios Tarifa General Mes de Junio					
1	350,86	11	416,06	21	408,69
2	395,37	12	429,30	22	395,17
3	400,19	13	425,40	23	451,57
4	397,55	14	355,02	24	455,62
5	405,03	15	278,72	25	419,17
6	373,32	16	363,96	26	436,38
7	354,10	17	397,26	27	449,96
8	371,72	18	434,05	28	365,95
9	391,08	19	432,23	29	338,17
10	408,68	20	446,59	30	409,70
Promedio Mensual				398,56	

Por su parte en la tabla 4-18 se presenta el resumen de aplicar los sistemas de gestión de forma independiente para el primero de de Junio del 2014. El sistema de gestión por prioridades arroja una disminución en costo de 1,11% respecto a la tarifa general y de 6,9% respecto a la tarifa nocturna. Por su parte el sistema de gestión por objetivo marca una disminución en el consumo del 11,37% respecto al consumo inicial de 50,511 kW/día.

Tabla 4-22: Resumen de resultados Perfil 1 para el 01 Junio de 2014 considerando el Sistema de Gestión por Objetivos y Prioridades.

Perfil 1- Jun 01 -2014		Consumo General		Prioridades		Gestión por Objetivo			
Consumo	Tarifa	Total	Total	Total	Total	Total W	Tarifa	Total	Total
W	399	General	Nocturna	General	Nocturna	HEMS	399	General	Nocturna
50511	20153,89	17952,24	14109,51	17753,85	13135,92	44766,00	17861,63	15818,31	12445,44
Ahorro en \$		2201,65	6044,38	198,39	973,59	5745,00	2292,26	2133,93	1664,07
Ahorro en %		10,92	29,99	1,11	6,90	11,37	11,37	11,89	11,79

Cuando se ejecuta el sistema de gestión en conjunto la disminución de costo y consumo es mayor, como se observa en la tabla 4-23, debido a las condiciones que cada algoritmo genera en el sistema. Con ello, el ahorro de energía aumentó hasta el 15,74 % y a nivel de costo presenta un ahorro del 17,04% para tarifa general y del 20,8% para tarifa nocturna.

Tabla 4-23: Resumen de resultados Perfil 1 para el 01 Junio de 2014 considerando el Sistema de Gestión Completo.

Perfil 1- Jun 01 -2014		Consumo General		Sistema de Gestion Completo			
Consumo	Tarifa Plana	Total	Total	Total HEMS	Total	Total HEMS	Total
W	399	General	Nocturna	General W	General	Nocturna W	Nocturna
50511	20153,89	17952,24	14109,51	42560	14893,97	42560	11175,36
Ahorro en \$		2201,65	6044,38	7951,00	5259,91	7951,00	8978,53
Ahorro en %		10,92	29,99	15,74	26,10	15,74	44,55

4.5. CONCLUSIONES.

Se presentaron los protocolos diseñados para evaluar el funcionamiento de la interfaz de usuario y los algoritmos del sistema de gestión implementados. Estos resultados representan un ahorro significativo a nivel de consumo y costo de cara al usuario, generando un ambiente propicio para una futura implementación en un prototipo modelo o una prueba piloto en un escenario real. Debido a las características de la implementación se pueden obtener múltiples combinaciones de escenarios que pueden promover el desarrollo de tecnologías y modelos de negocio alrededor de los sistemas de gestión eléctrica.

En la aplicación de los sistemas de gestión diseñados se encontró una diferencia en la implementación individual respecto a la aplicación en conjunto, esto debido a la flexibilidad y adaptabilidad del algoritmo desarrollado. Los resultados presentados en las tablas 4-21 y 4-23 claramente indican un beneficio en la implementación de estas estrategias, se determinó que el ahorro máximo para el mes de Junio del 2014 aplicando el sistema completo de gestión es del 16,36% para la tarifa general y del 35,15 para la tarifa nocturna.

Adjunto al presente documento se entregan imágenes y tablas que permiten verificar la validez de los resultados presentados para los tres perfiles de consumo. El desarrollo de estas tablas sirve como criterio de evaluación favoreciendo a su vez el continuo desarrollo de herramientas de software y escenario futuros de simulación.

5. Capítulo

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. CONCLUSIONES.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones derivadas de las pruebas realizadas a la herramienta software desarrollada, siguiendo los protocolos de ensayo indicados en el capítulo anterior. Se verificó el funcionamiento de la interfaz visual y gráfica, como también del sistema de gestión y sus estrategias de control. Se corroboró la comunicación entre la base de datos, el sistema de gestión y la interfaz de usuario. Se constató a su vez la aplicación software implementada en java que funciona como simulador de un ambiente residencial, incluyendo los perfiles de consumo y generación.

Se determinó que los HEMS van desde un simple monitoreo al usuario sobre su consumo de energía, hasta el control total y automatización de los dispositivos de un escenario residencial, facilitando así la inclusión de una gran variedad de elementos en el diseño de estas tecnologías. En el área de la automatización se evidencia un crecimiento relacionado con los sistemas de seguridad en el hogar, aplicaciones de entretenimiento, eficiencia energética, control de HVAC y aumento del confort. Se identificó que en un escenario de redes inteligentes la toma de decisiones tanto operativas como estratégicas es el resultado de contar con una predicción de la demanda y determinar el costo de la energía en ese instante de tiempo para permitir que los HEMS ejecuten las acciones de forma automática.

Debido al aumento de aplicaciones y sistemas a la red del hogar, es indispensable otorgarle al usuario una herramienta de control robusta, que posea flexibilidad en la programación de los dispositivos al interior de la vivienda. Es importante a su vez tener presente que la composición demográfica del entorno influye en la sostenibilidad del sistema. Se identificó además que un aspecto esencial para el funcionamiento de los HEMS es la detección de las condiciones medioambientales y el estado de los sistemas de generación distribuida, en el caso de tenerlos implementados. Finalmente se destaca que los HEMS son herramientas que les facilitarán a los agentes del sector eléctrico medir el impacto económico que puede tener en los usuarios el monitoreo y control de su consumo eléctrico.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 4 se puede concluir que la implementación de la tarifa variable puede representar un ahorro económico en los usuarios dependiendo del comportamiento de consumo que cada residencia tenga; pero es necesario implementar estrategias de gestión para optimizar estos resultados y garantizar una disminución del costo total. Para las tarifas variables implementadas en el presente documento se encontró que la variación correspondiente a la tarifa nocturna representa un ahorro mayor respecto a la tarifa general; por lo tanto, esta discretización debería ser considerada en el futuro para la implementación de franjas horarias.

En la aplicación de los sistemas de gestión diseñados se encontró una diferencia en la implementación individual respecto a la aplicación en conjunto, debido a la flexibilidad y adaptabilidad del algoritmo desarrollado. Los resultados presentados en las tablas 4-21 y 4-23 claramente indican un beneficio en la implementación de estas estrategias, determinándose que el ahorro máximo para el mes de Junio del 2014 aplicando el sistema completo de gestión es del 16,36% para la tarifa general y del 35,15 % para la tarifa nocturna. Se determinó que bajo el escenario de tarifa variable es necesario tomar periodos de tiempo diferentes para evaluar el beneficio de su implementación debido a la variabilidad del comportamiento diario.

Por otra parte los resultados obtenidos dejan ver con claridad una posibilidad real de iniciar un proyecto empresarial alrededor de la gestión de la demanda del lado cliente, abriendo a su vez la posibilidad de implementar múltiples modelos de negocios que faciliten el desarrollo económico de la región y la generación de empleo mediante creación de empresa. Finalmente se puede concluir que un sistema de gestión de energía en un ambiente residencial puede ser una herramienta poderosa y segura para disminuir tanto el costo en la facturación como el consumo energético propiciando la eficiencia del sistema en las viviendas.

5.2. TRABAJOS FUTUROS.

Con el desarrollo del presente trabajo se abre un abanico de posibilidades para continuar proyectando la implementación de estas tecnologías en la región. Los trabajos futuros que se han identificado se resumen a continuación:

- Caracterizar diferentes perfiles de usuario clasificando la información por estratos socioeconómicos y tipos de aplicaciones eléctricas que se utilizan generando diferentes escenarios de consumo para evaluar el comportamiento de los HEMS.
- Evolucionar el algoritmo de gestión hacia sistemas de mayor adaptación como las redes neuronales, la lógica difusa o sistemas multiagentes.
- Aumentar la capacidad de procesamiento del sistema disminuyendo el tiempo de captación de información, permitiendo acercarse a una respuesta en tiempo real.
- Analizar a nivel residencial la pertinencia técnica y económica de las fuentes de generación renovables y caracterizar en una segunda etapa los perfiles de generación con mayor exactitud para combinarlos con escenarios de consumo futuros.
- El desarrollo de un prototipo de laboratorio para una prueba piloto en un escenario controlado para desarrollar la comunicación entre el software y los elementos físicos de un ambiente residencial.
- Profundizar en la normatividad y los protocolos de comunicación para el desarrollo de los HEMS.
- Desarrollar e implementar herramientas que permitan evaluar la adquisición de destrezas para el control de la herramienta software desarrollada y permitiendo estimar la asimilación de la interfaz de usuario por parte de los clientes de los sistemas de gestión.
- Generar un modelo de negocios que permita el desarrollo empresarial de la región incentivando a su vez la generación de empleo.

6. Capítulo

BIBLIOGRAFÍA

- Ag, S. & Mm, D.C.D., 2008. Gestión de la Energía Eléctrica.
- Ali, S. & Kim, D., 2013. Visualization Methodology of Power Consumption in Homes. , pp.55–59.
- Alterno, C., Solar, F. & M, J.L., 2010. Índice general.
- Aman, S., Simmhan, Y. & Prasanna, V.K., 2013. Energy management systems: state of the art and emerging trends. IEEE Communications Magazine, 51(1), pp.114–119.
- Asare-Bediak, B., Ribeiro, P.. & Kling, W., 2012. Integrated Energy Optimization with Smart Home Energy Management Systems. , pp.1–8.
- Baig, M.Q. et al., 2014. A Comparative Analysis on Home Automation Techniques. 2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation, pp.109–114. Available at:
- Campos Avella, J.C. et al., 2008. Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía para la Implementación.:
- Cebrian, S.M., Planta solar fotovoltaica. , pp.1–50.
- Chen, C. & Cook, D.J., 2012. Behavior-based home energy prediction. Proceedings - 8th International Conference on Intelligent Environments, IE 2012, pp.57–63.
- Choi, C.-S., Lee, J.I. & Lee, I., 2012. Complex Home Energy Management System Architecture and Implementation for Green Home with built-in photovoltaic and motorized blinders. , pp.295–296.
- Conte, G. et al., 2011. Building simulation/emulation environments for home automation systems. 2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), pp.31–38.
- Devidas, A.R. & Ramesh, M.V., 2013. Wireless Smart Home Energy Management System. , pp.626–631.
- Dittawit, K. & Aagesen, F.A., 2014. Home Energy Management System for Electricity Cost Savings and Comfort Preservation. , pp.309–313.
- Dove, P., Corporation, A. & Group, I.A., 2010. Integrating Distributed Energy Resources into the Smart Grid.

- Dt--, S.O.L. & Gasquet, I.H.L., 2004. Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos. , 52(90).
- Gamba, M., Gonella, A. & Palazzi, C.E., 2015. Design Issues and Solutions in a Modern Home Automation System. , pp.1111–1115.
- García, H. et al., 2013. Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia.
- Genova, F. et al., 2007. Thermal and energy management system based on low cost Wireless Sensor Network Technology , to monitor , control and optimize energy consumption in Telecom Switch Plants and Data Centres.
- Han, D. & Lim, J., 2010. Smart Home Energy Management System using IEEE. , pp.1403–1410.
- Han, D.-M. & Lim, J.-H., 2010. Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 56(3), pp.1417–1425.
- Han, J. et al., 2011. Green Home Energy Management System through comparison of energy usage between the same kinds of home appliances. 2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), pp.1–4.
- Hossain, R. et al., Evolution of Smart Grid and Some Pertinent Issues.
- Hu, Q. et al., 2013. Hardware Design of Smart Home Energy Management System With Dynamic Price Response. , 4(4), pp.1878–1887.
- Ignacio, J. et al., 2005. La gestión de la demanda de electricidad vol . I,
- Inoue, M. et al., 2003. Network architecture for home energy management system. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 49(3), pp.606–613.
- Javaid, N. et al., 2013. A Survey of Home Energy Management Systems in Future Smart Grid Communications. 2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, pp.459–
- Javier, F. & Alzate, S., 2012. Normatividad sobre Redes Inteligentes Normatividad sobre Redes Inteligentes.
- Jiménez Buendía, M. et al., 2007. Redes de sensores y actuadores (WSAN) en domótica.
- Jose, S., Huang, T. & Liu, D., 2011. Residential Energy System Control and Management using Adaptive Dynamic Programming. , pp.119–124.
- Ju, S.H. et al., 2011. An efficient home energy management system based on Automatic Meter Reading. 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, pp.479–484.
- Kamilaris, a & Pitsillides, a, 2013. Towards interoperable and sustainable smart homes. IST-Africa Conference and Exhibition (IST-Africa), 2013, pp.1–11.
- Kling, W.L. & Ribeiro, P.F., 1970. Home Energy Management Systems : Evolution , Trends and Frameworks.
- Koř, E. et al., 2014. Smart Home Automation System for Energy Efficient Housing. , (May), pp.26–30.
- Lee, J.I. et al., 2011. A study on the use cases of the smart grid home energy management system. Ictc 2011, pp.746–750.

- Li, J. et al., 2011. On the design and implementation of a home energy management system. International Symposium on Wireless and Pervasive Computing, pp.1–6.
- Li, Y., 2013. Design of a Key Establishment Protocol for Smart Home Energy Management System. 2013 Fifth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, pp.88–93.
- Magazine, 2013. Efficient Security Protocol for Advanced Metering. (February), pp.1–15.
- Maqueda Zamora, M.R. & Sánchez Viveros, L.A., 2008. Curvas de demanda de energía eléctrica en el sector doméstico de dos regiones de México. Smart Metering West Coast, pp.172–180.
- Montesinos Antonio, “Instalaciones domóticas entorno y diseño de proyectos”, 2014, ISBN 8428333637.
- Mtshali, T.R. et al., 2011. Simulation and modelling of PV-wind-battery hybrid power system. IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1–7.
- Oro, I.D., Terzano, I.G. & Andr, I., 2010. Modelo Didáctico en Simulink de un Generador Eléctrico basado en un DFIG Facultad de Ingeniería – Udelar. , pp.1–9.
- Ortiz, R.E.A., Deibe, A. a G. & Aldana, 2008. “Energía renovable Colombia”
- Ozturk, Y. et al., 2013. A personalized home energy management system for residential demand response. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 5, pp.1241–1246.
- Pereda Soto, I.E., 2005. Celdas Fotovoltaicas en generación distribuida.
- Romero Cristobal, 2017, “Domótica e Inmótica: viviendas y edificios inteligentes.” Segunda edición.
- Rossello--Busquet, a, Soler, J. & Dittmann, L., 2011. A Novel Home Energy Management System Architecture. 2011 Uksim 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp.387–392.
- Rueda, V., 2011. Predicción del Consumo de Energía en Colombia con Modelos no Lineales. , pp.21–30.
- Sel, C., 2012. Advanced Meter ring Infrastructure for Smart Grid Applications. , pp.145–150.
- Son Y S, 2010. Home Energy Management System Based on Power Line Communication. , pp.2–3.
- Suresh, P., Daniel, J.V. & Aswathy, R.H., 2014. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) History , Technology and fields of deployment.
- Tamano, K. & Tsuji, H., 2011. Relation of home energy consumption and static properties of consumers. Proceedings of 2011 3rd International Conference on Awareness Science and Technology, iCAST 2011, pp.215–220.
- Tariq, M. et al., 2012. Smart grid standards for home and building automation. 2012 IEEE International Conference on Power System Technology,
- Tecnalía, L., 2007. Guía Básica de la Gestión de la Demanda Eléctrica. , p.66.

- Ulapane, N.N.B. et al., 2011. Extraction of parameters for simulating photovoltaic panels. 2011 6th International Conference on Industrial and Information Systems, pp.539–544.
- UPME, M.D.E., 2008. “Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia” Revisión, marzo de 2008.
- Veleva, S. 2012, Wireless Smart Platform for Home Energy Management System. , pp.1–8.
- Withanage, C. & Otto, K., 2014. A Comparison of the Popular Home Automation Technologies. IEEE innovative Smart Grid Technologies, pp.600–605.
- Xu, W. & Dong, M., 2012. Tracking energy consumptions of home appliances using electrical signature data. IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1–5.
- Zhang, W. & Lee, F.C., 2014. Energy Management System Control and Experiment for Future Home. , pp.3317–3324.

7. Capítulo

ANEXOS

7.1. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA.

Para la producción de energía eólica se ha considerado un aerogenerador de la empresa Bornay, estos dispositivos presentan unas características de velocidad para su funcionamiento y posterior generación, esa clasificación de velocidades es:

- Velocidades Bajas 2 m/s hasta 7 m/s.
- Velocidades Medias 8 m/s hasta 12 m/s
- Velocidades Altas, superiores a 13 m/s.

Cuando las velocidades del viento son superiores, el sistema debe realizar correcciones sobre la incidencia del aire en las aspas del aerogenerador, esta regulación se puede realizar de dos maneras por variación de paso y por control de pérdida aerodinámica, estas características deben ser tenidas en cuenta al momento de una implementación real.

Cuando las velocidades llegan a valores críticos en los cuales el sistema corre peligro, por ejemplo cuando hay tormentas con fuertes vientos, el control del sistema debe realizar una detección del rotor, para ello utiliza pinzas electromagnéticas en el eje a la entrada del multiplicador, o un aerofreno en el rotor que detiene por completo la máquina cuando las velocidades de giro son peligrosas.

Para velocidades bajas e intermedias.

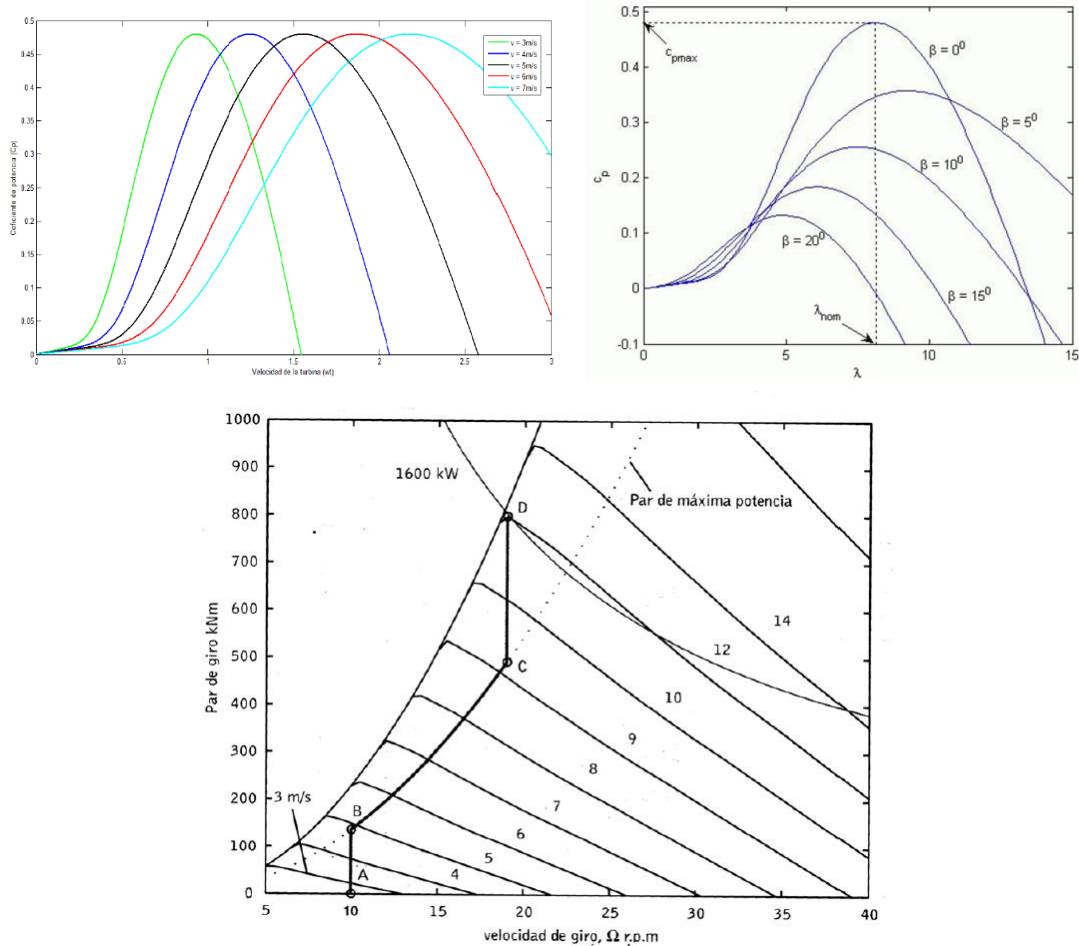


Ilustración 7-1: Características y etapas de generación de un aerogenerador.

En la gráfica 7-1 se aprecia el comportamiento del aerogenerador en las tres secciones de velocidad del viento, a pesar de los cambios al interior de la maquina el comportamiento de generación de energía corresponde al indicado en las gráfica de la derecha de la figura 7-1. Este comportamiento se describió matemáticamente en la sección 4.4.2.1 para la simulación del aerogenerador.

7.2. CARACTERISTICAS DEL AEROGENERADOR BORNAY 600.

Este elemento presenta unas características de generación y potencia como se indican a continuación, información importante para simular su comportamiento (figura 7-2).

Aerogenerador Bornay 600	
Características Generales	
Numero de hélices	2
Diametro	2 m
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Sentido Controrario AR
Sistema de control	1 Regulador Electrónico 2 Pasivo por inclinación
Características Eléctricas	
Alternador	Trifasico de imanes permanentes
Imanes	Ferrita
Potencia Nominal	600 W
Voltaje	12, 24, 48 V
RPM	1000
Regulador (en caso de asilada)	12 V 60 A 24 V 30 A 48 V 15 A
Velocidad del Viento	
Para arranque	3.5 m/s
Para potencia nominal	11 m/ s
Para frenado automático	13 m/s
Maxima velocidad soportada	60 m/s
Características Físicas	
Peso aerogenerador	38 Kg
Peso regulador.	7 Kg
Embalaje	50 x 77 x 57 cm - 55 Kg
Dimensiones -peso	104 x 27 x 7 cm - 4.7 Kg
Total	0.22 m ³ - 59. 7 Kg
Garantía	3 Años

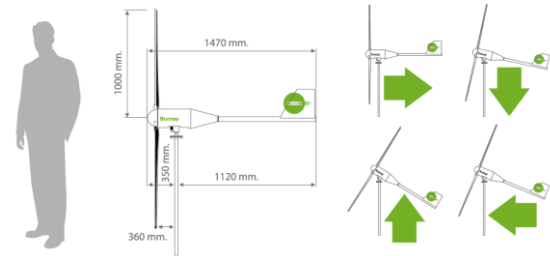


Ilustración 7-2: Características del Aerogenerador.

En la tabla 7-1 se presenta la información que ofrece el fabricante relacionando los tipos de velocidad del viento para la construcción de los perfiles de generación.

Tabla 7-1: Categorías de la velocidad del viento.

Categorías para la variación de velocidad del viento				
Grado	Nombre	Efectos apreciables en tierra	Velocidad m/s	Velocidad km/h
0	Calma	Humo vertical.	0 a 0.2	0 a 1
1	Ventlina	Se inclina el humo.	0.2 a 1.4	1 a 5
2	Brisa muy débil	Se siente viento en la cara.	1.4 a 3	6 a 11
3	Brisa débil	Se agitan las hojas de los árboles.	3 a 5.3	12 a 19
4	Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles pequeños.	5.6 a 7.8	20 a 28
5	Brisa fresca	Se mueven los árboles pequeños.	7.8 a 10.5	29 a 38
6	Brisa fuerte	Se mueven las ramas grandes.	10.5 a 13.1	39 a 49
7	Viento fuerte	Todos los arboles en movimiento.	13.1 a 17	50 a 61
8	Temporal	Se rompen las ramas delgadas de los árboles.	17 a 20.5	62 a 74
9	Temporal fuerte	Árboles arrancados y daños en edificios.	20.5 a 24.5	75 a 88
10	Temporal duro	Graves daños en edificios.	24.5 a 28.3	89 a 102
11	Temporal muy duro	Destrozos generalizados.	28.3 a 32.5	103 a 117
12	Huracan	Enormes daños.	Mas de 32.5	Mas de 118

7.3. ALGORITMO DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DE PERFILES DE USUARIO.

En la figura 7-6 se aprecia la definición de las variables y las funciones de conexión que sirven para entablar la comunicación con la base de datos y cargar en el sistema los hábitos de consumo predefinidos para el desarrollo de las simulaciones.

```
package gui_simulacion;

/**
 * Trabajo de Grado: Interfaz de Usuario para la Gestion de Energía Eléctrica en un Ambiente Residencial
 * Auto: Pablo Julián Salamanca Bernal
 * Facultad de Ingeniería
 * Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
 * Universidad del Valle
 */

import java.sql.*;

public class hvac extends javax.swing.JFrame {

    String usuario= "pjulian.sb";
    String pass= "saberjulian";
    String url = "jdbc:mysql://localhost/julian";
    Connection enlace = null;
    Connection conexion = null;

    public hvac() {
        initComponents();
    }

    public Connection activarConexion(String url, String usuario, String password, Connection enlace)

    try{
        String driver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        Class.forName (driver).newInstance();
    }
    catch (Exception e){
        System.out.println("No se puede cargar el Driver de MYSQL");
        e.printStackTrace();
    }

    try{
        enlace = DriverManager.getConnection(url, usuario, password);
    }
    catch (Exception e){
        e.printStackTrace();
    }

    return enlace;
}
```

Ilustración 7-3: Definición de variables y comunicación con la base de datos.

La ilustración 7-7 se presenta el algoritmo central para cargar los perfiles de usuario, cuando los elementos de checkbox de la aplicación son marcados se convierten en el código en una sentencia insert que cargará la información correspondiente en la base de datos, cada espacio activado representa una hora de ejecución del elemento.

```
conexion = activarConexion(url, usuario, pass, enlace);
try{
    Statement stm = conexion.createStatement();
    stm.addBatch("delete from registro_eventos where id_elemento='17'");

    for(int i=0; i<24; i++){

        if((i==0)&&(p[0]==true)){
            hora_ini=1;
            tiempo++;
        }
        if((i>0)&&(i<23)){
            if(p[i]==true){
                if(tiempo>0){
                    tiempo++;
                }
                else{
                    hora_ini=i+1;
                    tiempo++;
                }
            }
            if(p[i]==false){
                if(tiempo>0){
                    hora_fin=(i+1)-hora_ini;
                    tiempo=0;
                    //escribe
                    stm.addBatch("insert into registro_eventos set id_el

                }
            }
        }
    }

    if(i==23){
        if(p[23]==true){
            if(tiempo>0){
                hora_fin=(i+2)-hora_ini;
                tiempo=0;
                //escribe
                stm.addBatch("insert into registro_eventos set id_elemento='17', id_usuario='2', dia='0', mes='0',

            )
            else{
                hora_ini=24;
                hora_fin=1;
                tiempo=0;
                //escribe
                stm.addBatch("insert into registro_eventos set id_elemento='17', id_usuario='2', dia='0', mes='0',

            )
        }
        if(p[23]==false){
            if(tiempo>0){
                hora_fin=(i+1)-hora_ini;
                tiempo=0;
                //escribe
                stm.addBatch("insert into registro_eventos set id_elemento='17', id_usuario='2', dia='0', mes='0',

            )
        }
    }
}
stm.executeBatch();
}
```

Ilustración 7-4: Algoritmo para cargar los perfiles de consumo en la base de datos.

7.4. CÁLCULOS DE TARIFA VARIABLE.

En la tabla 7-2 se presenta un ejemplo de las tablas construidas para determinar la tarifa variable.

Tabla 7-2: Adaptación del precio para el escenario Colombiano.

Normalizacion del costo de la energía de España para un escenario Colombiano								
01/06/2014		Costo España			Ajuste España	Ajuste Colombia	Promedio Colombia	299.475
Hora	Tarifa	Euros	2522.25	Pesos Colombianos	117.75	173.61	Ajuste Colombia	Escenario Colombia
		MWh / €	KWh/ €		Diferencia	Normalizacion %	Pesos	
1	2.0A	99.20	0.099197205	250.2001	17.7150	15.0446	26.1181	325.5931
2		95.85	0.095848325	241.7534	9.2683	7.8711	13.6647	313.1397
3		96.85	0.096845328	244.2681	11.7830	10.0068	17.3722	316.8472
4		98.54	0.09854174	248.5469	16.0618	13.6405	23.6807	323.1557
5		98.58	0.09858271	248.6502	16.1651	13.7283	23.8330	323.3080
6		99.33	0.09933276	250.5421	18.0569	15.3349	26.6222	326.0972
7		101.62	0.101622206	256.3166	23.8315	20.2390	35.1359	334.6109
8		98.65	0.09864607	248.8100	16.3249	13.8640	24.0686	323.5436
9		105.80	0.105799574	266.8530	34.3678	29.1871	50.6702	350.1452
10		107.37	0.10736965	270.8131	38.3279	32.5502	56.5088	355.9838
11		108.08	0.108084552	272.6163	40.1311	34.0816	59.1673	358.6423
12		113.07	0.113074958	285.2033	52.7182	44.7712	77.7251	377.2001
13		112.80	0.112803752	284.5193	52.0341	44.1903	76.7165	376.1915
14		113.44	0.113444061	286.1343	53.6491	45.5618	79.0976	378.5726
15		113.14	0.113144498	285.3787	52.8936	44.9202	77.9837	377.4587
16		105.97	0.105970749	267.2847	34.7996	29.5537	51.3068	350.7818
17		102.23	0.102229393	257.8481	25.3629	21.5396	37.3939	336.8689
18		102.24	0.102240643	257.8765	25.3913	21.5637	37.4357	336.9107
19		103.51	0.103505213	261.0660	28.5809	24.2725	42.1382	341.6132
20		110.38	0.110375743	278.3952	45.9101	38.9894	67.6875	367.1625
21		106.21	0.106207393	267.8816	35.3964	30.0606	52.1868	351.6618
22		116.05	0.11604706	292.6997	60.2145	51.1376	88.7774	388.2524
23		120.13	0.120128264	302.9935	70.5084	59.8796	103.9541	403.4291
24		114.79	0.114792806	289.5362	57.0510	48.4509	84.1132	383.5882
		Maximo		350.2353		Maximo		473.0800
		Minimo		114.7350		Minimo		125.8700
		Promedio		232.4852		Promedio		299.475
		Diferencia		235.5003				
		Ajuste		117.7501				